

# 데이터베이스화에 의한 지수공법 선정시스템에 관한 연구

## A Study on the Selection System of Waterproof Method by Using Database

천 병 식\*<sup>1</sup> Chun, Byung-Sik  
최 춘 식\*<sup>2</sup> Choi, Choon-Sik  
하 광 현\*<sup>3</sup> Ha, Kwang-Hyun

### Abstract

In this study, database systems which were used to select the waterproof method according to leakage patterns of underground structures were built by performing pilot tests, reviewing literatures, and analysing the gathered data statistically. The database was built by using check lists which consisted of 5 major items and 73 subdivided items, and 26 major parameters according to 4 classified grades were determined on the base of survey which considered various in-situ conditions. The database of waterproof methods was comprised of 10 methods which were applied in Korea. From the database of waterproof methods, application ranges and design conditions of waterproof methods were suggested. From the results of study, database system consists of parameters selection database, waterproof method database, and design condition database. From the results of pilot tests, when the database of waterproof methods was applied to design stage, saving time and reducing mistakes for selecting waterproof method were gained. In addition, when the database of waterproof methods was applied to construction stage, effects such as evaluation of applicability of waterproof method, improvement of constructability and post management were expected.

### 요 지

본 연구에서는 국내에서 이용되고 있는 지하구조물 누수에 대한 지수공법과 재료에 대하여 이론적 고찰 및 실험을 실시하고 현장적용 자료의 수집을 통한 통계적인 분석·고찰을 통하여 지하구조물의 누수유형별 지수공법 선정을 위한 시스템을 구축하고자 하였다. 선정시스템의 구성은 데이터베이스 5개의 대구분과 73개 항목의 세분화된 체크리스트를 이용하여 다양한 현장 조건을 고려한 설문조사를 토대로 4개로 대분된 위계성 등급에 따른 26개의 주요 선정 인자를 설정하였다. 지수공법 데이터베이스는 국내에 적용실적이 많은 10개의 공법으로 이루어졌다. 설계조건 데이터베이스에서는 10개의 지수공법에 대한 적용범위와 설계조건에 대한 자료를 제공한다. 연구결과에 의한 시스템은 선정 인자 데이터베이스와 지수공법 데이터베이스 그리고 설계조건 데이터베이스에 의한 관계형 데이터베이스로 구성되었다. 본 선정시스템의 현장적용 결과, 설계단계에 적용할 경우 지수공법 선정을 위한 시간 단축과 지수공법 선정시의 오류를 감소시킬 수 있었다. 또한 시공단계에 적용할 경우에는 설계단계에서 선정된 지수공법을 현장조건에 따라 재확인함으로써 지수공법의 타당성 분석을 할 수 있고 향후 유지관리에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**Keywords :** Database, Leakage, Proper waterproof methods, Underground structure

\*1 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Hanyang Univ., hengdang@unitel.co.kr)

\*2 정희원, 서울그라우팅연구소 소장 (Member, President, Seoul Grouting Institute)

\*3 정희원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (Member, Ph.D. Candidate, Dept. of Civil Engrg., Hanyang Univ.)

## 1. 서론

현재 우리나라의 경우, 경제 성장기인 70~80년대에 지어진 구조물의 사용기간이 20~30년이 경과하면서 구조물의 유지관리에 대한 관심의 확대와 지하공간의 활용을 위한 지하구조물 건설요구가 증대됨에 따라 누수 보수·보강공사는 급격히 증가하고 있는 실정이다. 그러나 국내에서는 구조물의 누수 보수·보강에 대한 기술자료가 충분하지 못하고 체계적이지 못할 뿐만 아니라, 이에 대한 연구도 미흡한 실정이다. 특히, 그 동안 지하구조물의 누수에 대한 보수·보강에 대한 연구는 재료적인 실험이나 누수 보수·보강 방법에 대한 지침서 정도의 연구에 그치고 있었다고 해도 과언이 아니다. 그리고 외국의 문헌이나 연구자료에서도 보수·보강공법의 선정을 위한 것이라고 해도 보수공법의 선정에 그치고 있으며, 그나마 구조물의 누수의 원인 규명도 명확하지 않았고 공법의 비교도 이루어지지 않은 실정임으로 실제로 현실에 적용하기에는 여러 가지 문제점을 내포하고 있다.

지하구조물의 누수문제는 그 유형의 모호성 때문에 확실한 누수원인 파악이나 공법선정에 대한 여러 가지 사항의 검토가 필요하나 이를 제시한 연구는 거의 없다. 또한, 누수방지에 대한 보수·보강 대책의 수립에 있어서 국내의 유지관리의 수준은 아직 전문가의 경험적인 지식 및 주관적인 판단에만 의존하고 있어 참고문헌, 지침서, 사례집 등도 산만하게 분산되거나, 중복적으로 기술되어 매우 비효율적으로 사용되고 있다. 이러한 유지관리 체계는 일관성을 쉽게 잃게 될 수 있고, 이에 따라 시간적, 경제적 손실을 초래할 수 있어 지하구조물의 지수공법을 위한 객관적 유지관리 체계의 확립은 매우 절실하다.

따라서, 본 연구에서는 전문가의 지식과 경험을 최대한 활용하고 객관적 설문조사를 실시하여 실제 수행된 많은 지수공법 현장적용실적을 이용한 데이터베이스화(서울대학교 공학연구소, 1994)에 의해 누수현장조건에 가장 경제적이고 합리적인 지수공법을 선정할 수 있는 지수공법 선정시스템을 개발하고자 하였다.

## 2. 지하구조물의 누수유형별 지수공법

### 2.1 지하구조물의 누수원인

지하구조물의 누수발생의 주 원인은 콘크리트구체

자체의 균열과 공극 발생, 방수공사의 문제(방수설계의 오류와 방수시공의 소홀)로 분류될 수 있으며, 이에 대한 발생원인을 열거하면 다음과 같다.

- 공극 : 콘크리트는 반죽시 혼입되는 갇힌 공기 이외에 수화반응 중에 생기는 많은 공극, AE제의 사용에 의한 연행공기 등의 기포가 존재한다. 이러한 공극은 콘크리트의 수밀성을 저하시키는 직접적인 원인이 되지는 않지만 콘크리트의 표면 성능 저하시 결함부분으로 수분의 침투로 인해 누수가 발생한다(吉田迪雄, 1992). 일반적인 콘크리트 내에 발생하는 공극은 수화 반응 중에 생기는 겔 공극 및 모세관 공극 이외에 반죽시 혼입되는 공기와 AE제와 같은 혼화제의 사용으로 받아들여지는 연행공기 등에 의하며, 이와 같은 공극발생은 누수현상의 원인이 된다.
- 균열 : 단순히 콘크리트 표면부위에만 발생한 균열은 적절한 표면처리로 수분의 침입을 막을 수 있지만 부등침하, 하중분포 불균형, 온도팽창, 수축, 지진 등으로 구체 내부까지 발생된 균열은 직접적인 누수원인이 될 수 있다. 콘크리트의 균열은 경화 전에 발생한 것과 경화 후에 발생한 것으로 구별된다. 지하구조물은 다양한 원인에 의해 균열이 발생할 수 있으며(안갑선, 1980), 이와 같이 발생한 균열은 누수의 중요한 영향인자로 파악되어진다.
- 방수공사 불량 : 일반적으로 지하구조물에서는 지수를 목적으로 건물외벽에 방수공법이 사용된다(김명성, 1987). 누수가 발생하는 기존 지하구조물에서도 건물 신축시 방수공사를 기 실시한 경우가 많다. 이와 같이 지하구조물의 누수발생 문제중 기 실시한 방수공사의 설계 및 시공을 주요 원인으로 파악하여야 한다. 방수공사 불량에 대한 사항은 방수공사 자체의 불량, 주변지반의 고려 미흡, 구조물 설치의 불량으로 구분할 수 있다.

### 2.2 누수유형별 지수공법

지하구조물에서 발생하는 누수는 복합적인 균열양상과 구체의 공극 등에 의해 다양한 유형으로 발생하므로 지수공법 선정에 있어서 구조물의 누수상태, 누수위치, 누수량 등의 누수유형이나 환경조건에 따라 적절한 지수공법을 적용하여야 한다. 그러나 지금까지 사용되고 있는 일반적인 지수공법은 누수유형이나 환경조건을 고려하지 않고 단순히 사용 가능한 공법만을 선택해 입

시적 응급 공사용으로 사용되어 왔다. 따라서 지금까지 일반적으로 적용되어 왔던 그라우팅 기법을 개선, 보완하고 누수원인 및 유형과 구조물의 특성을 고려한 대표적인 지수공법을 선정하여 다음과 같이 구분하였다(천병식·최춘식, 2001).

- 1) WGS지수그라우팅공법 : 누수유형과 구조물의 특성을 고려한 근본적인 누수 방지시스템인 WGS지수그라우팅공법은 지하구조물의 누수유형에 따라 ① 전면지수그라우팅공법, ② 충전지수그라우팅공법, ③ 배면지수그라우팅공법 및 상기 공법들을 단독 또는 조합·병행하는 ④ 복합지수그라우팅공법으로 구분된다.
- 2) 수지계지수주입공법 : 수지계지수주입공법은 각종 고분자수지계통의 주입재를 사용한다. 수지계지수주입공법의 경우 일반적인 시공방법은 누수부위를 드릴로 천공한 후 주입용 노즐을 삽입하고 고압으로 주입재를 주입하여 지수를 시행하는 주입기법이다(Hakami and Stephansson, 1993). 일반적인 지수공법에 적합한 수지계 주입재의 종류에 따라 ① 에폭시, ② 우레탄, ③ 아크릴, ④ 실런트 주입공법 등으로 열거할 수 있다.
- 3) 기타 공법 : 균열크기에 따라 구분 적용할 수 있는 ① 표면처리공법, ② 모르타르충전공법으로 구분하였다.

### 3. 데이터베이스화에 의한 지수공법 선정시스템

#### 3.1 지수공법 선정시스템의 필요성

지하구조물의 누수문제는 그 유형의 모호성 때문에 확실한 누수원인 파악이 필요하다. 또한, 누수방지 대책의 수립에 있어서 국내의 경우 전문가의 경험적인 지식 및 주관적인 판단에만 의존하고 있어 객관적 유지관리 체계의 확립은 매우 절실하다. 따라서, 전문가의 지식과 경험을 최대한 활용하면서 객관적 설문조사를 실시하고 실제 수행된 많은 지수공법 현장적용사례를 이용하였다.

#### 3.2 선정인자

##### 3.2.1 선정인자 선정 방법

국내에서 사용되어지고 있는 지수공법으로부터 지하구조물의 지수공법을 선정하기 위한 모델을 구축하기 위해서는 보다 객관적이고 다양한 조건에 의한 최적해를 도출할 수 있는 가교 역할이 가능한 선정인자의 설정이 무엇보다 중요하다. 그러나 선정인자를 설정하는 것은 각 시스템마다의 위계성 및 중요성에 따라 그 내용이 다르며 선정인자별 가중치도 달라질 수밖에 없다.

따라서, 본 연구에서는 적절한 공법을 선정하는 데에 있어서 영향요소인 선정인자를 선정하기 위하여 전문가의 전문적인 지식, 시공자의 경험과 지식을 토대로 입지환경 관련사항, 설계 및 시공관련사항, 발주처 관심사항, 누수보수 판단사항, 지수공법 선정사항 등에 대해 언급

표 1. 설문조사 항목별 세부사항 요약

항 목	세 부 사 항					
1. 입지환경 관련 사항	· 지역구분	· 주변의 지층	· 주변환경	· 유입수	· 구체주변 지하매설물	
2. 설계 및 시공 관련사항	· 본공사시 굴착방법	· 구체에 작용하는 응력	· 구체배면 흠막이공법	· 구체배면 되메움재 두께	· 구체사용용도	· 지하실내 마감상태
	· 구체배면 되메움재 두께	· 구체사용용도	· 지하실내 마감상태	· 누수사고 당시상황	· 지하수위	· 해당보수부위 지하심도
	· 구체배면 되메움재 토성	· 슬래브 배면주위조건	· 설계상 본 방수적용공법	· 구체표면 평탄성	· 구체배면 지하수 유속	· 구체배면 되메움재 다짐상태
	· 구체사용용도	· 설계상 본 방수적용공법	· 구체표면 평탄성	· 구체내부 매설물	· 구체 두께	· 구체 재질
	· 지하실내 마감상태	· 구체표면 평탄성	· 구체내부 매설물		· 콘크리트 다짐정도	
3. 발주처 관심 관련사항	· 기대효과	· 보수후 내구연한	· 특별요망사항	· 금지사항	· 유지관리	
	· 작업시간	· 공사비	· 순 공사기간	· 검사방법	· 검사시기	
4. 누수보수 판단 관련사항	· 누수위치	· 누수세부부위	· 누수발생시기	· 누수형태 및 양상		
	· 누수량	· 누수 면적	· 누수원인A, B	· 기 시행한 누수보수공법		
5. 지수공법 관련사항	· 당 현장 적용공법	· 적정주입형태	· 천공간격	· 천공깊이	· 천공각도	
	· 주입구 파취폭	· 주입구 파취 깊이	· 주입구경	· 주입관 재질	· 주입구 형태	
	· 주입방식	· 주입재 종류	· 혼화제 종류	· 주입재 입경	· 주입재 점도	
	· 물-시멘트비	· 주입호스길이	· 주입량	· 주입압력	· 주입시간(개소)	
	· 재 주입간격	· 주입회수	· 고결시간	· 모르타르팽창제	· 좌대 설치간격	
	· 팍커 설치간격	· 마감재	· 도포회수	· 도포두께		

가능한 총 73개 항목에 걸쳐 객관적 설문조사를 실시하였다. 설문대상은 총 235개 현장에 반영된 1,069건의 지수공법 적용사례로 하였으며 이를 토대로 지수공법 설계에 미치는 중요성에 따라 선정인자를 설정하였다.

설문조사에 사용된 체크리스트의 내용은 조사대상자가 누수문제에 대해 실제 느끼고 있는 그대로 나타낼 수 있도록 객관적으로 작성되어야 함은 물론 조사하고자 하는 사항을 정확히 반영할 수 있도록 다음과 같이 설문을 작성하였다.

표 1의 체크리스트 항목을 대별하면 입지환경 관련사항, 설계 및 시공관련 사항, 발주처 관심 관련사항, 누수보수 판단관련사항, 지수공법 관련사항으로 크게 5가지로 구분하였다. 각 항목별로 세분화된 체크리스트는 조건을 다양하게 입력하여 현장조건에 가능한 접근하도록 하였다.

### 3.2.2 설문조사 분석

5개의 대분류와 이에 따라 세분된 73개 항목의 체크리스트에 의해 다양한 조건을 고려한 설문조사는 총 235개 현장에서 적용된 1069건의 지수공법 적용사례를 통하여 실시하였다. 이와 같은 설문조사 내용을 토대로 지수공법 선정의 가교 역할이 가능한 선정인자를 선정하고 아울러 각 인자에 대한 가중치와 위계성을 결정하기 위하여 설문조사 자료를 각각의 구분된 조건별로 구분하여 분석·고찰하고자 하였다.

체크리스트 자료를 이용하여 지수공법별 사용빈도, 누수관련 조건, 구체관련조건, 구체주변관련조건의 4개항으로 크게 구분하여 각 항목별로 통계 분석을 실시하였다.

토 크게 구분하여 각 항목별로 통계 분석을 실시하였다.

#### (1) 지수공법별 사용빈도

총 1069건의 지수공법 적용사례에 대한 설문조사에서 각 지수공법별 사용빈도에 대한 분석결과는 그림 1과 같다.

그림 1에서와 같이 전체 지수공법중 WGS지수그라우팅공법이 65%로 사용빈도가 가장 높게 나타났다. 이것은 지하구조물의 누수원인이 구조물의 결합에 추가하여 방수하차원인이 불분명하고 주변지반조건의 불량에 기인할 수 있음을 보여주고 있는 것으로 판단된다.

#### (2) 누수관련 조건

설문조사 분석에서 누수관련조건에는 누수형태 및 양상, 누수량(이정규·이종인, 1996), 누수원인, 누수면적의 4개항으로 구분하여 각 항목별로 분석을 실시하였다. 각 항목별로 정리하면 다음과 같다.

##### 1) 누수형태 및 양상

누수관련 조건 중에서 누수형태 및 양상의 설문조사 결과 부분적으로 발생한 경우가 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났으며 그 분석결과는 그림 2와 같다.

##### 2) 누수량

누수관련 조건 중 지하구조물의 누수부위에서 발생하는 누수량은 극소량( $1 \times 10^2 \text{cm}^2/\text{sec}$ 이하), 소량( $1 \times 10^2 \sim$

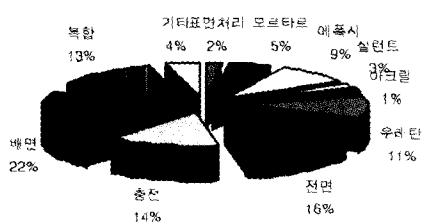


그림 1. 공법별 사용빈도

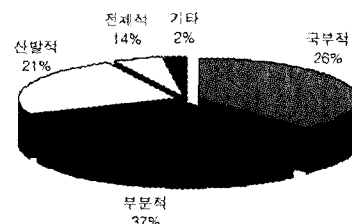
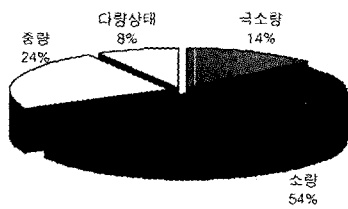
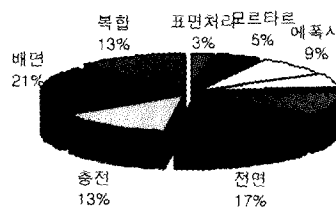


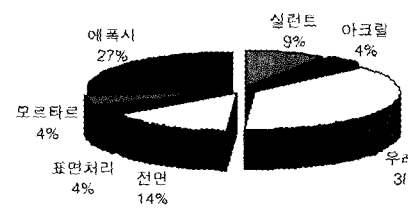
그림 2. 누수형태 및 양상에 대한 설문분석



(a) 누수량



(b) 적용공법



(c) 극소량에 대한 적용 공법

그림 3. 누수량에 대한 설문분석

5×10<sup>-7</sup>cm/sec), 중량(5×10<sup>-1</sup>~1×10<sup>-1</sup>cm/sec), 다량(1×10<sup>-1</sup>cm/sec이상), 기타 총 5개의 항목으로 나뉘어 조사되었고 그 결과는 그림 3과 같다.

그림 3의 누수량에 따른 통계분석 결과에서와 같이 누수가 심한 지하구조물의 지수공법은 배면지수그라우팅공법이 많이 사용되고 있는데 이와 같은 현상은 지하구조물 배면지반에서의 지반개량에 의한 누수경로의 차단은 지수효과에 매우 효과적일 수 있음을 보여주고 있는 것으로 판단된다.

### 3) 누수원인

누수원인에 대한 분석, 정리는 구조물 누수의 일차적인 원인인 방수에 관련된 누수원인과 구체에 관련된 누수원인에 대해 A, B로 구분하였다.

누수원인 A의 내용에는 주로 방수재와 주변의 부등

침하, 방수시공 소홀 등으로 구분하고 누수원인 B에는 균열과 재료분리에 의한 구체 공극 및 조인트의 시공 불량으로 구분하였다. 누수원인 A의 분석 결과를 살펴보면 그림 4, 5에서와 같이 방수층 파손의 영향이 47%로 가장 크게 나타났으며, 방수시공 소홀 37%, 방수재 선정 부적합이 4% 순으로 나타났고 누수원인 B의 분석 결과는 균열이 53%로 균열발생이 누수의 주요원인임을 알 수 있다.

그림 6은 누수원인중 비중을 많이 차지하는 균열과 관련된 설문분석결과로 일반적으로 지하구조물 벽체의 균열발생시 벽체의 균열을 보수하는 충전, 전면, 우레탄, 에폭시주입공법 이외에 주변지반을 종합적으로 보수, 보강하는 배면 및 복합지수그라우팅공법의 적용이 이루어져야 적절한 지수효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

그림 7에서는 구체 공극 및 신축조인트에 누수발생시

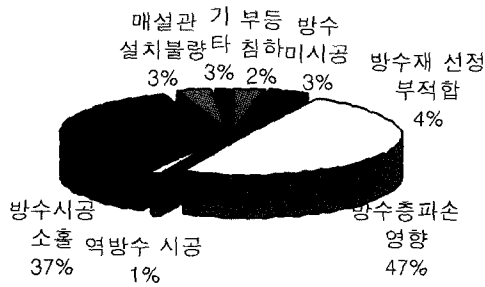


그림 4. 누수원인 A에 대한 설문분석

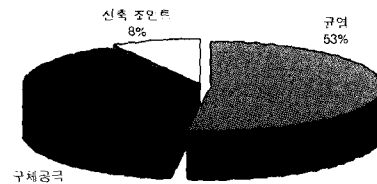
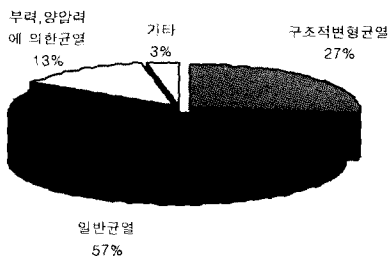
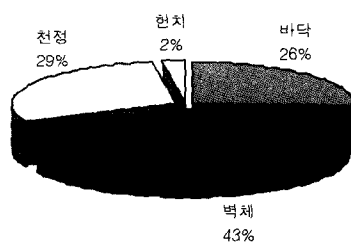


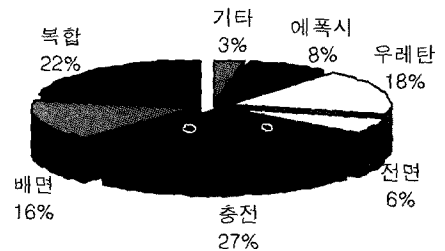
그림 5. 누수원인 B에 대한 설문분석



(a) 균열 원인

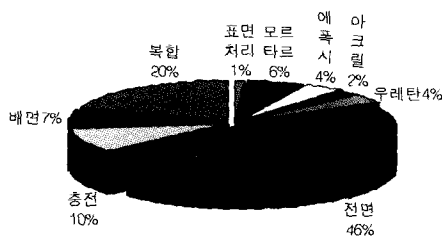


(b) 균열위치

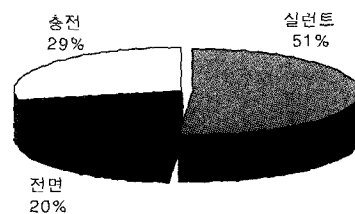


(c) 벽체균열에 대해 사용된 지수공법 분류

그림 6. 누수원인과 관련된 균열형태 및 위치별 적용지수공법



(a) 구체공극에 적용된 지수공법



(b) 신축 조인트에 적용된 지수공법

그림 7. 구체공극 및 신축 조인트에 적용된 지수공법

적용사례를 분석하였다.

이와 같은 결과로부터 구체 공극에 적용된 지수공법은 지하구조물의 수밀성 확보와 누수경로 차단을 위한 전반적인 대책수립이 있고, 신축 조인트 부분에 대해서는 조인트의 틈새를 채워주는 정도의 비교적 간단한 공법의 적용이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

#### 4) 누수면적

누수면적에 대한 사항은 보수대상 면적 구분은  $0.1\text{m}^2$  이하,  $1\text{m}^2$  이하,  $10\text{m}^2$  이하,  $100\text{m}^2$  이하,  $100\text{m}^2$  이상, 기타로 구분하였다. 시공사례 분석을 통한 누수면적은 그림 8(a)에서와 같이 부분적으로  $0.1\text{m}^2$  이하인 곳이 30%, 일부분적인  $10\text{m}^2$  정도인 곳이 29%를 차지하였고 누수면적이 상당히 넓은  $100\text{m}^2$  이상인 경우도 16%로 크게 나타나 다양한 누수형태를 보여주고 있는 것으로 나타났다.

누수면적의 크기에 따라 지수공법 적용사례의 분석 결과는 그림 8(b) 및 그림 8(c)에 나타내었다. 그림 8(b)에서와 같이 누수면적이  $100\text{m}^2$  이상인 경우 배면지수그라우팅공법이 75%, 복합지수그라우팅이 17% 순으로 적용되고 있다. 이것은 누수면적이 넓은 경우 지하구조물 벽체의 구조적인 결함을 보수에 추가하여 주변지반을 복합적으로 고려하여 개량이 필요함을 보여주고 있다. 반면 보수대상 면적이  $0.1\text{m}^2$  이하로 소규모인 경우 그림 8(c)에서와 같이 우레탄지수주입공법, 에폭시지수

주입공법, 전면지수그라우팅공법 등과 같이 구조체의 결함을 보수하는 정도로 적용되었음을 알 수 있다. 이와 같이 누수 규모의 크기에 따라 지수공법의 변경적용이 필요하게 된다.

#### (3) 구체관련 조건

체크리스트에서 구체관련 조건은 누수발생 위치, 구체사용용도, 구체두께, 구체에 작용하는 응력의 4개 사항으로 구분하여 각 항목별로 분석을 실시하였다. 각 항목별로 정리하면 다음과 같다.

##### 1) 누수발생위치

지수공법이 적용된 누수위치는 바닥 슬래브, 벽체, 천정 슬래브, 현치, 기타 등으로 구분하였다. 설문조사 분석 결과는 그림 9(b)에서와 같이 배면, 충전지수그라우팅공법이 주로 사용되고 천정슬래브 부위는 우레탄지수주입공법, 충전지수그라우팅공법, 배면지수그라우팅공법이 주로 사용되고 있다. 이와 같이 누수위치가 벽체 혹은 슬래브에 따라 지수공법이 다양하게 변경 적용되는데 지수공법 적용시 다양한 검토가 필요함을 알 수 있다.

##### 2) 구체 사용 용도

그림 10에서는 구체 사용 용도별 현황을 총 16개와

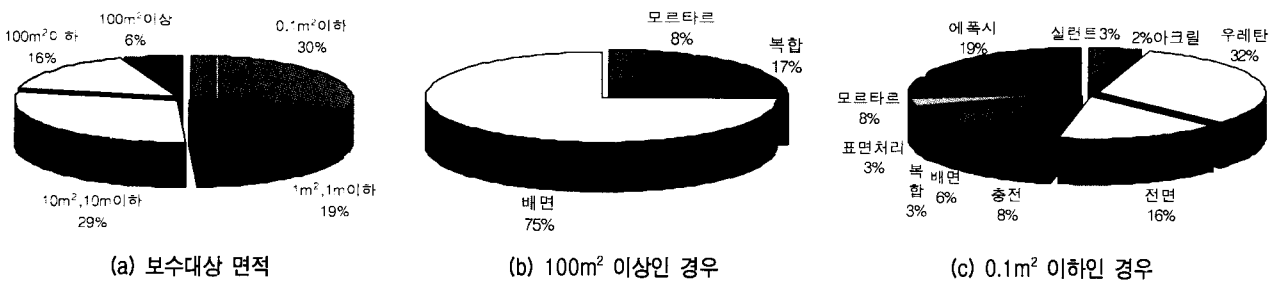


그림 8. 누수면적에 대한 설문 분석

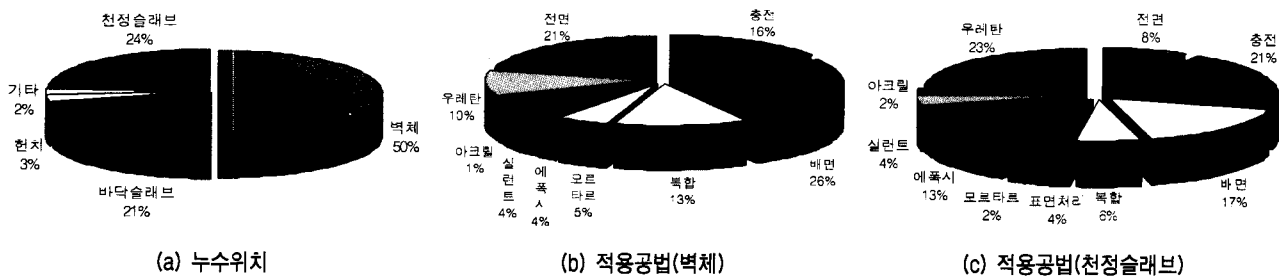


그림 9. 누수위치에 대한 설문분석

기타 1개 항목으로 구분하여 조사하였다. 분석 결과는 건물지하층, 도심지하철, 지하주차장 순으로 나타났다. 이것은 전반적으로 지하구조물의 시공빈도와 지하부분을 차지하는 면적이 큰 경우 누수발생 확률이 크게 나타날 수 있음을 알 수 있다. 또한 모든 지하구조물에 누수가 발생되고 있음을 나타내고 있다. 따라서, 지하구조물 축조 시에는 누수문제에 대한 지속적인 관심과 설계단계시부터 시공완료 때까지 철저한 관리가 요구된다.

### 3) 구체두께

구체두께에 대하여는 30cm이하, 60cm이하, 90cm이하, 120cm이하, 120cm이상의 5개 항목으로 구분하여 조사하였다. 조사결과에 대한 분석결과 구체의 두께가 30cm이하가 4%, 60cm이하가 72%, 90cm이하가 19%로 나타났으며, 120cm이하와 120cm이상은 4%, 1%로 나타났다. 이 결과는 일반적인 구체의 두께가 30~60cm인 것과 관련이 있을 수 있다. 그러나 120cm 이상의 구체에 대해서도 누수문제가 발생하고 있음을 살펴볼 때 설계, 시공과정에서 철저한 누수대책이 요구된다고 하겠다.

그림 11(b)에서는 구체 두께가 30~60cm인 경우에 사용되어진 공법을 나타낸 것으로 배면지수그라우팅공법, 복합지수그라우팅공법, 전면지수그라우팅공법, 우레탄주입공법 순으로 적용되었음을 알 수 있다. 여기에서 배면지수그라우팅공법(26%)의 적용사례가 많은 이

유는 지하구조물 배면지반의 시공불량이 누수원인과 밀접한 관계가 있음을 보여주고 있는 것이다.

### 4) 구체에 작용하는 응력

구체 관련조건 중 구체에 작용하는 응력에 대한 분석 결과는 그림 12와 같다.

그림에서와 같이 수압 53%, 토압 29%, 수압+토압 15% 그리고 부력 2%로 지하수위로 인한 수압이 가장 크게 나타났다. 이와 같이 수압, 수압+토압, 양압(부력)이 작용하는 지역은 구체의 균열발생과 누수의 직접적인 요인이 되는 사항으로, 누수대책을 위한 공법 적용시 주변의 지하수위에 대한 수압의 고려가 필요하다.

### (4) 구체주변 관련 조건

지하구조물의 누수발생의 지수공법 선정을 위한 실제 시공현장조사의 설문조사에서 구체주변 관련조건은 지역구분조건, 배면지반조건, 배면지반의 다짐상태, 지하수위의 4가지 항목에 대하여 파악하였다. 각 항목별로 설문조사를 통한 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

#### 1) 지역구분 조건

지역구분조건은 시가지, 해안지역, 일반지역, 개발지, 기타 등 5가지로 나누어 나타내었다. 설문조사결과 그림 13에서와 같이 대부분의 지하구조물이 인구가 밀집한 도심에서 건설되는 것으로부터 파악될 수 있는데 기

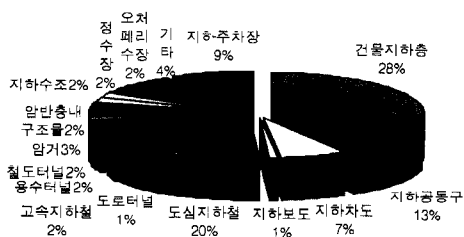


그림 10. 구체 사용 용도에 대한 설문분석

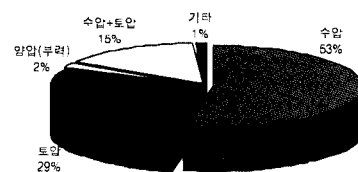
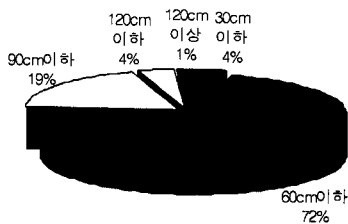
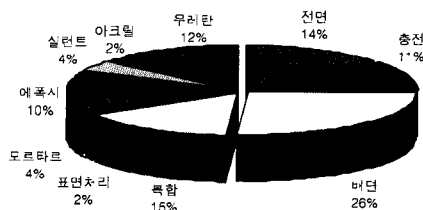


그림 12. 구체에 작용하는 응력에 대한 설문분석



(a) 두께에 대한 구분



(b) 두께별 사용공법

그림 11. 구체두께에 대한 설문분석

타지역에서도 누수문제는 전반적으로 발생함을 알 수 있다.

누수문제가 많이 발생하는 시가지지역 현장에서 적용한 지수공법의 예를 살펴보면 그림 13(b)에서와 같이 배면지수그라우팅공법, 전면지수그라우팅공법, 충전지수그라우팅공법, 복합지수그라우팅공법, 우레탄지수주입공법 등의 순으로 누수조건에 따라 전반적으로 다양한 지수공법이 적용되고 있음을 알 수 있다.

### 2) 배면지반 조건

누수문제가 발생한 현장에서의 배면지반조건은 그림 14에서와 같이 배면 되메움 토사의 선정시 가장 많이 고려되는 사질토 지반(천병식, 1991)에서 52%로 가장 많았으며 그 다음으로 점성토, 이토, 역질토 순으로 각각 나타났다. 이것은 상대적으로 투수성이 양호한 사질 지반에서 누수가 많이 발생함을 확인할 수 있는 것으로 누수문제는 배면지반의 지반 물성치인 투수계수와 상관관계가 있음을 확인할 수 있다.

### 3) 배면지반의 다짐상태

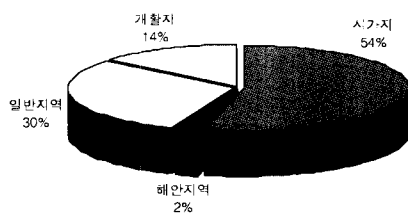
배면지반의 다짐상태는 조밀, 중간, 느슨, 기타의 4가지로 구분하였다. 조사결과와 분석정리 결과는 그림 15와 같이 느슨한 배면지반 상태에서 누수문제가 크게 발생하고 있다. 이것은 배면지반의 시공상태에 따라 다짐 시공이 불량하게 진행될 경우 주변 지하수의 유입을 통한 수압상승으로 지하구조물 벽체의 균열면을 통하여

누수문제가 발생할 수 있는 것으로 배면의 다짐상태 불량(느슨하게 시공)은 누수발생의 중요한 원인으로 평가 될 수 있음을 보여주고 있다.

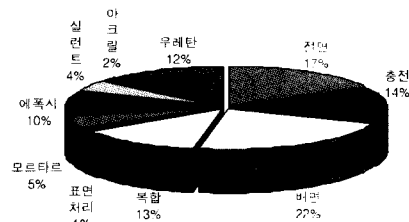
### 4) 지하수위

지하구조물의 누수발생은 주변지반의 지하수와의 관련이 크다. 체크리스트를 통한 현장조사결과 누수발생 지역의 대부분이 지하수위 하부지역을 나타내고 있으므로 지하수위와 관련한 누수대책은 반드시 필요하다. 일반적으로 지하구조물 축조시 건설규모, 구조물의 지지기반, 말뚝설치 여부, 지하 지수공법의 검토 등을 하기 위해서 지층 및 지하수의 존재를 파악하게 된다. 이것은 지하수위 고저에 변화된 크기로 발생하는 수압은 영구적으로 공급되어지므로 이를 통해 지하구조물의 변형과 균열을 발생시킬 수 있기 때문이다. 이와 같이 지하수위는 지형이나 지층상태, 우기와 건기의 기상조건이나 강우량과 배수상황, 지하매설 하수도의 손상에 의한 생각지 않은 유수 등에 의해서 변화하는 것 등의 고려가 필요하다. 따라서 지하수위를 고려한 지수공법 검토 시에는 반드시 사전에 부지 지반의 시추조사를 비롯한 각종 조사를 실시하여 정확한 지하수위조건을 파악하여야 한다.

상기의 설문조사 분석에서 각 항목별 관련성을 파악하여 항목별 중요도에 따른 영향인자의 선정이 필요하며, 정확히 파악된 선정인자에 의해 선정 시스템의 기초 자료로 활용하고자 하였다.



(a) 지역구분에 대한 분석



(b) 시가지에 대한 분석

그림 13. 지역 구분에 대한 설문분석

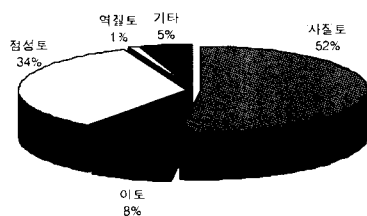


그림 14. 배면지반 조건에 대한 설문분석

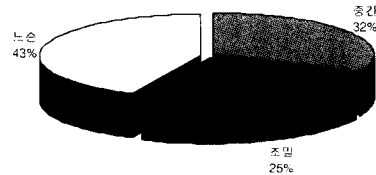


그림 15. 배면지반의 다짐 상태에 대한 설문분석



표 2. 선정인자 항목

구 분		선 정 인 자					
위 계 성	1 등급	· 누수발생시기 · 누수위치	· 지역구분 · 누수량	· 주변환경 · 누수형태 및 양상	· 구체사용용도		
	2 등급	· 누수부위	· 기 시행한 보수공법	· 누수면적	· 누수원인 (A, B)	· 구체표면 평탄성	
	3 등급	· 되메움재 토성 · 구체에 작용하는 응력	· 배면다짐상태 · 설계상 본방수 적용공법	· 지하수위 · 구체 두께	· 지하수 유속		
	4 등급	· 슬래브 배면주위 조건	· 누수보수 기대효과	· 누수보수정도	· 관심도	· 공사비	· 순 공사기간

#### 4. 데이터베이스 구성

지수공법 선정시스템은 각종 속성정보로 이루어진 데이터베이스 부분과 이를 사용자와 연결시켜주는 사용자 인터페이스 프로그램 부분으로 나눌 수 있다. 데이터베이스 부분은 현황조사 및 정밀 현장조사 단계에서 얻어진 다양한 현장조사자료와 관련된 선정인자 데이터베이스군과 이를 기반으로 하는 선정공법 데이터베이스군으로 세분된다.

또한 이러한 시스템의 구축이 일회성에 그치지 않기 위해서 입출력이 보다 용이하고 자료의 호환성과 분석이 수반되도록 구축하였으며 사용자 인터페이스 프로그램 부분은 자료의 구축과 입출력 방법에 있어서 자료의 입력과 수정이 용이하도록 하였다.

또한 효율적인 데이터베이스의 관리와 향후, 자료의 누적 증가 시 발생할 수 있는 관리 시스템상의 효율을 증대하기 위해서 관계형 데이터베이스 관리시스템(*relational database management*)으로 이식할 수 있도록 데이터베이스 구조를 설계하고 그에 따라 데이터를 수집, 분석함으로써 향후 구축되는 데이터베이스의 확장성을 고려할 수 있게 하였다.

##### 4.1 선정인자 설정

지수공법 모형 구축을 위해서는 보다 객관적이며 다양한 조건을 입력받아 최적해를 도출하는 가교 역할을 하는 선정인자를 설정하는 것이 무엇보다 중요하다. 그러나 선정인자를 설정하는 것은 각 시스템마다의 위계성 및 중요성에 따라 그 내용이 달라질 것이며 가중치도 달라진다.

따라서, 본 연구에서는 누수유형별 적정지수공법 선정을 위한 중요한 영향 요인인 선정인자의 선정은 체크리스트에 의한 현장조사 자료를 기초로 하였다. 설문 조사자료는 전문가의 전문적인 지식과 시공자의 경험적

지식을 기반으로 입지·환경 조건, 설계 조건, 시공 조건, 누수·현장 상황, 적용공법 및 누수보수관리사항 등 (ACI, 1987, 1989) 지수설계에 미치는 중요성에 따라 표 2와 같이 선정인자를 설정하였다.

표 2에서와 같이 위계성 1등급에 해당되는 것은 누수가 발생한 현장의 자료로부터 확인할 수 있는 사항이며 2등급 선정인자는 문서조사 자료로부터 확인할 후 실제 현장답사시 관찰할 수 있는 항목들로 구성되어 있다. 3등급 선정인자는 설계도서 및 시공기록을 참조하여 결정할 수 있는 항목이며 마지막으로 위계성 4등급 인자는 설계 및 시공조건에 해당되는 6개 항목으로 하였다.

##### 4.2 적용공법

적용공법의 분류기준은 각 공법에 사용되어지는 주입재의 종류로 구분하여 표 3에서와 같이 각각의 공법을 코드로 나타내었다. 각 등급의 검색조건에 대해서는 논리값(logical)으로 표현하여, 각각의 항목에 T(true)/F(fault)로 나타나게 하였고 공법 선택시 모호한 결과의 도출을 막기 위하여 각 선정인자의 적합 가능성을 중요도에 따라 0~15 사이의 수로 부여하였고 지수공

표 3. 적용공법 데이터베이스

적용공법 종류	CODE
전면지수그라우팅공법	01_JW_GR01
충전지수그라우팅공법	02_CW_GR01
배면지수그라우팅공법	03_BW_GR01
복합지수그라우팅공법	04_DW_GR01
에폭시주입공법	05_EW_IN01
우레탄주입공법	06_UW_IN02
실런트주입공법	07_SW_IN03
아크릴주입공법	08_AW_IN04
표면처리공법	09_PW_GE01
모르타르충전공법	10_MW_GE01

법은 이들 수를 모두 합친 값에 따라 순서별로 적용 가능한 공법을 찾아내어 나열하여 선정공법이 정해지도록 하였다.

### 4.3 적용조건

선정인자 데이터베이스와 지수공법 데이터베이스로부터 도출된 해에 대한 관련 상세 설명과 설계조건을 데이터베이스로 하는 공법별 설계조건의 데이터베이스는 설문조사 자료를 토대로 현장 전문가들의 자문과 경험, 모형시험 및 현장시험을 통해 각 주입공법에 따른 설계조건 데이터베이스의 주요사항을 나타낸 것으로 정리하여 나타내면 표 4와 같다.

표 4의 공법별 설계조건 데이터베이스에는 지수공법(10가지)별 주입재, 주입압, 주입량, 주입간격, 물-시멘트비, 주입관에 대한 상세사항을 정리하였다. 예를 들면 전면지수그라우팅공법은 주입압이 1~10kgf/cm<sup>2</sup>, 주입량이 1~20//개소가 적당하며 주입간격은 철근부위까지 파취하여 시공하는 것이 효과적임을 예시하고 있다. 충전지수그라우팅공법은 주입압이 5~80kgf/cm<sup>2</sup>으로 전면지수그라우팅공법보다 크며, 주입구 간격은 누수량의 대소에 따라 수량이 클 때는 1~1.2m, 적을 경우에는 2~2.4m로 시공하는 것이 효율적인 것으로 제시하고

있다.

배면지수그라우팅공법은 주입구간격을 불투수층 차수벽이 있는 경우 4m<sup>2</sup> 당 1개소로 하며, 보통은 1~2m로, 주입압은 1차, 2차 주입으로 나누어서 실시하는 것이 좋다. 또한, 에폭시, 우레탄, 아크릴주입공법의 경우에는 주입압이 상대적으로 큰 반면에 구체의 균열폭에 따라 주입구 간격을 조절하고 주입량을 적게 한다.

### 4.4 지수공법 선정방법

지수공법을 선정하기 위해 공법선정에 큰 영향을 미치는 인자를 설정하여 위계성에 따라 3개로 분류하여 데이터 파일로 작성하였다.

데이터베이스 중 대상해가 도출되지 않을 경우 사용자의 의사에 따라 완화조건을 대입하여 해가 도출되게 하였으며, 해가 1개만 도출되는 경우는 극히 드물고 보통 합쳐진 수치의 크기에 따라 2~5개의 해가 동시에 도출된다. 또한, 이와 같이 그림 16의 선정절차 과정을 통하여 선택된 지수공법에 대해서는 지수 공법의 성능과 특징, 주의 사항 및 설계조건 등을 제공하게 하였다.

표 4. 공법별 설계조건 데이터베이스

공법	사항	주입재	주입압(kgf/cm <sup>2</sup> )	주입량	주입간격	물-시멘트비	주입관
전면지수 그라우팅 공법		초미립자 시멘트 + WGS 100	1~10	5~20 //개소	철근 부근까지 파취	48.5%	소량 : V자형 다량 : I자형
충전지수 그라우팅 공법		보통포틀랜드 시멘트 + WGS 200	5~80	5 //개소	누수량 대: 1~1.2m 소: 2~2.4m	47%	Y, I자형
배면지수 그라우팅 공법		보통포틀랜드 시멘트 + WGS 300	1차: 5이하 2차: 10이하	3~5 포/m <sup>2</sup>	1~2m 내외 불투수층 차수벽이 있는 경우 : 4m <sup>2</sup> 당 1개소	47%	I자형
복합지수 그라우팅 공법		콘크리트 구조물의 누수유형 및 규모 등 누수특성에 따라 단일공법으로 해결하기 어렵고 난해한 경우 전면, 충전, 배면지수그라우팅공법 등을 동시 또는 복합적으로 적용하는 지수공법					
우레탄 주입공법		우레탄	1~200	0.5 //분 이하	0.5m 미만	-	Y, I자형
에폭시 주입공법		에폭시	1~200	0.5 //분 이하	0.5m 미만	-	I, Y자형
아크릴 주입공법		아크릴	1~200	3.0 //분 이하	0.5m 미만	-	Y, I자형
실런트 주입공법		실런트	1~80	1~5 kg/m	1~5 개소/m	-	Y, I자형
표면처리 공법		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 폭 0.2mm이하의 미세한 균열 위에 도막을 도포하는 공법</li> <li>· 정지균열일 경우 : 피복재 사용</li> <li>· 진행성 균열일 경우 : 절연재 및 피복재 동시 사용</li> </ul>					
모르타르 충전공법		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 0.5mm이상의 폭이 큰 균열에 사용하는 공법</li> <li>· U형 : 철근이 부식되지 않은 경우</li> <li>· V형 : 철근이 부식된 경우</li> </ul>					

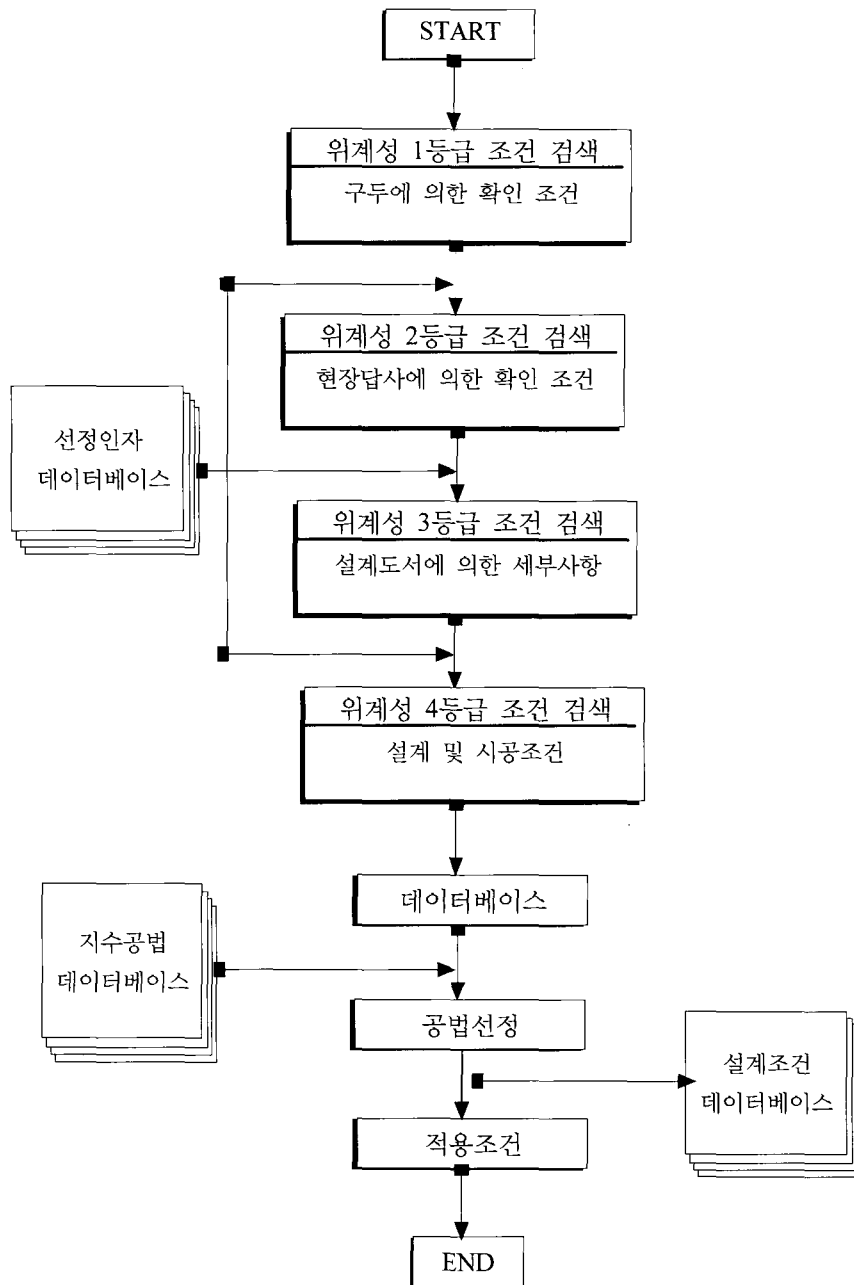


그림 16. 지수공법 선정 흐름도

## 5. 지수공법 선정시스템 적용 사례

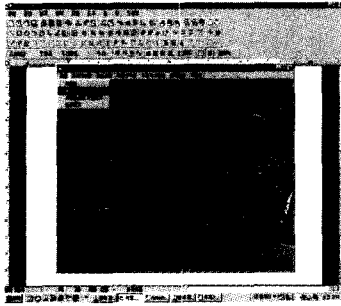
### 5.1 지수공법 선정시스템 구성

선정시스템은 관계형 데이터베이스를 이용하였다. 공법선정 모델에 대한 데이터베이스 구성은 지수공법 선정에 가장 큰 영향을 미치는 선정인자에 대한 데이터베이스와 각 선택된 선정인자에 의해서 도출되어지는 지수공법에 대한 데이터베이스, 그리고 도출된 해에 대한 관련 상세 설명과 설계조건을 제공하는 데이터베이스로 상호연관성을 갖고 구성되어 있다. 각각의 연관성을 갖는 4개

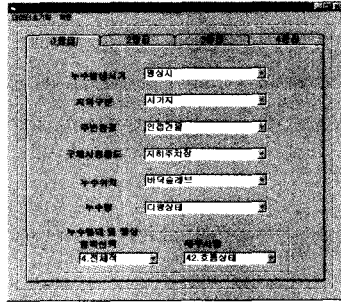
의 위계성 등급으로 26개 항목으로 구분된 선정인자 데이터베이스, 10개의 적용가능공법에 대한 지수공법의 데이터베이스와 설계조건 데이터베이스로 구성된다.

### 5.2 선정시스템의 적용

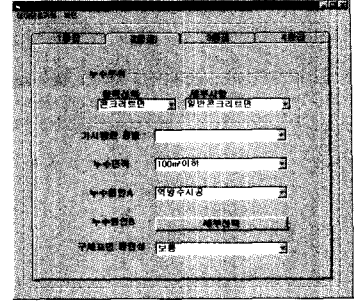
지하구조물의 지수공법 선정시스템의 적용성을 파악하기 위하여 실제 시공사례를 통해 고찰하였다. 실제 시공현장에 대하여 위계성 등급에 의한 26개의 해당 선정인자의 세부 항목을 입력함으로써 지수공법 선정시스템에 의해 지수공법을 선정하여 시공된 지수공법과



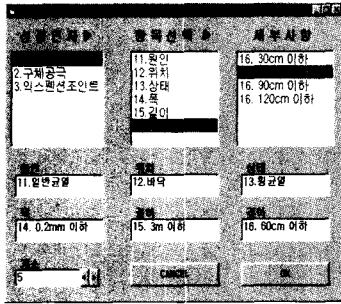
(a) 초기화면(메인 메뉴)



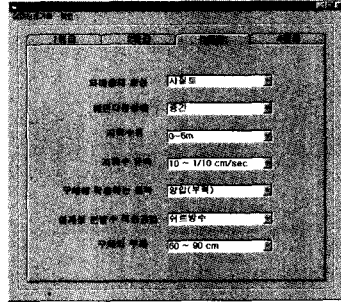
(b) 1등급 세부사항



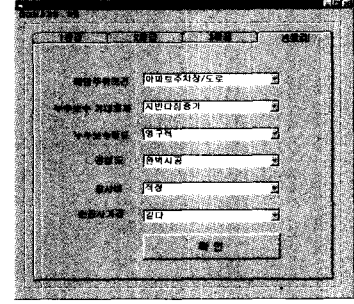
(c) 2등급 세부사항



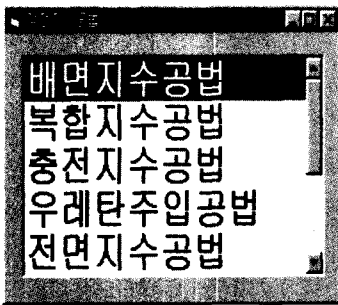
(d) 누수원인 세부사항



(e) 3등급 세부사항



(f) 4등급 세부사항



(g) 적정지수공법

지수공법	주입제	주입양	주입량	주입간격	물/시멘트비	주입관
전면지수	초미립자+WGS100	1~10 kg/㎡	5~20 liter/개소	철근부근까지 퍼취	48.5%	소량: V.다량: I자형
총천지수	보통시멘트+WGS200	5~80kg/㎡	5 liter/개소	누수량(D1~1.2m)	47%	Y, I 자형
배면지수	보통시멘트+WGS300	*1차: 5kg/㎡이하	3~5 포/㎡	*4㎡당1개소(차수벽부)	47%	I자형
우레탄주입	우레탄	1~200 kg/㎡	0.5 liter/분 이하	0.5m 미만	-	Y, I 자형
해폭시주입	해폭시	1~200 kg/㎡	0.5 liter/분 이하	0.5 m 미만	-	Y자형
아크릴주입	아크릴	1~200 kg/㎡	3 liter/분 이하	0.5 m 미만	-	I자형

(h) 지수공법별 설계조건

그림 17. 지수공법 선정시스템 적용(예)

비교를 실시하였다. 선정시스템의 적용성 검토는 2개 현장 적용사례를 이용하였다.

### 5.2.1 선정 시스템 적용성 검토(사례 1)

본 현장은 신도시 지역의 OO APT 지하주차장의 지수공법 적용사례를 이용하였다. 현장 시공기록에 의한 선정인자별 세부항목은 표 5에 나타내었다.

표 5의 현장조사에 의한 선정인자별 세부항목을 시스템에 입력하게 된다. 표에서와 같이 1등급 선정인자별 세부항목은 누수발생시는 평상시 조건, 지역조건은 시가지, 주변환경은 인접건물조건, 구체사용용도는 지하주차장, 누수위치는 바닥 슬래브, 누수량은 대량상태, 누수형태 및 양상은 전체적으로 흐름상태로 입력한다. 2등급 선정인자의 세부사항에서 누수부위는 콘크리트

면의 일반 콘크리트면, 기 시행한 보수공법은 적용사례가 없어 생략하고, 누수면적은 100㎡, 100m이하, 누수원인 A는 역방수 시공결함, 누수원인 B는 균열에 의한 벽체의 평균열로 0.2mm 이하의 폭과 3m이하의 길이, 60cm이하의 깊이, 시간당 5개소의 세부사항을 입력하고 구체 표면 평탄성으로 보통의 조건을 입력하였다. 3등급 선정인자의 세부사항은 되메움재 토성은 사질토, 구체배면 다짐상태는 중간, 지하수위는 5m이하, 지하수 유속은 10<sup>1</sup>~10<sup>1</sup>cm/sec, 구체에 작용하는 응력조건은 양압, 설계상 본 방수의 조건은 슈트방수, 구체두께는 90cm이하를 입력하였다. 4등급 선정인자의 세부항목은 배면주위조건은 아파트 주차장 및 도로, 누수보수 기대 효과는 지반다짐증가, 누수보수정도는 영구적, 관심도는 완벽시공, 공사비는 적정, 순공사기간은 장기간 사항

표 5. 신도시 OO APT 지수공법 선정을 위한 선정인자

구분	선정인자	세 부 사 항		
1 등 판	1) 누수발생시기	우기시/평상시/갈수기시/동절기시		
	2) 지역조건	시가지/해안지역/일반지역/개발지(산악지)		
	3) 주변환경	하천(암거)/인접건물/도로/단지조성구간/문화재구간		
	4) 구체사용용도	지하주차장/건물지하층/지하공동구/지하차도/지하보도/도심지하철/고속지하철/도로터널/용수터널/철도터널/암거/암반층내구조물/지하수조/정수장/오·폐수처리장/맨홀		
	5) 누수위치	천정슬래브/벽체/바닥슬래브/현치		
	6) 누수량	극소량/소량/중량/다량		
	7) 누수형태 및 양상	a) 국부적 b) 부분적 c) 산발적 d) 전체적	비침상태/흐름상태/유출상태/용출상태 비침상태/흐름상태/유출상태/용출상태 비침상태/흐름상태/유출상태/용출상태 비침상태/흐름상태/유출상태/용출상태	
2 등 판	1) 누수부위	a) 콘크리트면	일반콘크리트면/긴결재/철선·철근/흙통/배관접합부/목·어스앵커/스트롱앵커/H-빔/강관/매립재	
		b) 조인트	시공조인트/콜드조인트/구조체/이질조인트/신축조인트/블록아웃 조인트	
	2) 기 시행한 누수보수공법	WGS지수그라우팅공법/수지계지수주입공법/표면처리공법/모르타르충전공법/유도처리		
	3) 누수면적	0.1m <sup>2</sup> 이하/1m <sup>2</sup> · 1m이하/10m <sup>2</sup> · 10m이하/100m <sup>2</sup> · 100m/100m <sup>2</sup> 이상		
	4) 누수원인 A	방수미시공/방수재선택부적합/방수층파손/역방수시공결함/방수시공 소홀/매설관 설치불량/부등침하		
	5) 누수원인 B	균열	원인	구조적변형균열/일반균열/부력, 양압력 영향
			위치	천정/벽체/바닥
			상태	종균열/횡균열/사인장균열/망상균열
			폭	0.2mm이하/0.5mm이하/2.0mm이하/2.0mm이상
			길이	1m이하/3m이하/6m이하/6m이상
			깊이	30cm이하/60cm이하/90cm이하/120cm이하
			균열개소	1시간당 5 개소
		구체 공극	원인	다짐불량/시공여건상
			위치	천정/벽체/바닥
			상태	양호/모통/불량
폭			10cm이하/50cm이하/50cm이상	
길이			20cm이하/40cm이하/60cm이하/60cm이상	
깊이			5cm이하/10cm이하/20cm이하/20cm이상	
공극개소			1시간당 30 개소	
신축 조인트		원인	지수판 미설치/지수판 시공불량/지수재기능상실/백업재시공불량/실링재 시공불량	
	위치	천정/벽체/바닥		
	상태	양호/모통/불량		
	파손:폭	5mm이하/10mm이하/20mm이하/20mm이상		
	파손:길이	1m이하/3m이하/6m이하/6m이상		
	파손:깊이	30cm이하/60cm이하/90cm이하/120cm이하		
6) 구체표면 평탄성	양호/모통/불량			
3 등 판	1) 되메움재 토성	이토/점성토/사질토/역질토		
	2) 구체배면 다짐상태	느슨/중간/조밀		
	3) 지하수위	2m이하/5m이하/10m이하/20m이하/20m이상		
	4) 지하수유속	10 <sup>1</sup> cm/sec이상 / 10 <sup>1</sup> ~10 <sup>-1</sup> cm/sec / 10 <sup>-1</sup> ~10 <sup>-3</sup> cm/sec / 10 <sup>-3</sup> cm/sec 이하		
	5) 구체에 작용하는 응력	수압/토압/양압/수압+토압		
	6) 설계상 분방수 적용공법	도포방수/벤토나이트방수/쉬트방수/아스팔트방수/시멘트방수/구체방수/차수벽		
	7) 구체두께	30cm이하/60cm이하/90cm이하/120cm이하/120cm이상		
4 등 판	1) 슬래브 배면 주위조건	목욕탕,식당,수영장/ 주차장, 도로/화단, 잔디밭/ 콘크리트구조물/성토(토사층)/기타( )		
	2) 누수보수 기대효과	지반다짐증가/박리박락방지/염해부식방지/침하균열방지/수밀성증대/철근부식방지/중성화방지/재료분리충전/실내누기제거/환경친화성 조성		
	3) 누수보수정도	영구적/한시적/일시적		
	4) 관심도	경제성/완벽시공/공기순수/안전시공		
	5) 공사비	저가/적정/고가		
	6) 순공사기간	장기간/보통/즉시		

표 6. 지수공법 설계조건(배면지수그라우팅공법)

배면지수그라우팅공법		
설 계 조 건	설치방법	· 구조체 관통하여 방수층까지 천공후 주입구 설치 · 천공간격 1~2m
	주입구	· 소량 ϕ 14mm      · 다량 ϕ 14~50mm
	주입량	· 보통포틀랜드시멘트 3~5포/m <sup>2</sup> · 1개소당 2~3회 주입
	주입압	· 1차 : 5kgf/cm <sup>2</sup> · 2차 : 10kgf/cm <sup>2</sup> 이하
	재 질	· PE 파이프 혹은 팩커
	주입재	· 보통시멘트 + WGS 300

표 7. 00 지하철 0호선 ○○역 지수공법 선정을 위한 선정인자

구분	선정인자	세 부 사 항	
1 등 급	1) 누수발생시기	우기시/평상시/갈수기시/동절기시	
	2) 지역조건	시가지/해안지역/일반지역/개발지(산악지)	
	3) 주변환경	하천(암거)/인접건물/도로/단지조성구간/문화재구간	
	4) 구체 사용용도	지하주차장/건물지하층/지하공동구/지하차도/지하보도/도심지하철/고속지하철/도로터널/용수터널/철도터널/암거/암반층내구조물/지하수조/정수장/오·폐수처리장/맨홀	
	5) 누수위치	천정슬래브/벽체/바닥슬래브/현치	
	6) 누수량	극소량/소량/중량/다량	
	7) 누수형태 및 양상	a) 국부적      비침상태/흐름상태/유출상태/용출상태 b) 부분적      비침상태/흐름상태/유출상태/용출상태 c) 산발적      비침상태/흐름상태/유출상태/용출상태 d) 전체적      비침상태/흐름상태/유출상태/용출상태	
2 등 급	1) 누수부위	a) 콘크리트면      일반콘크리트면/긴결재/철선·철근/흙통/배관접합부/록·어스앵커/스토롱앵커/H-빔/강관/매립재	
		b) 조인트      시공조인트/콜드조인트/구조체/이질조인트/신축조인트/블록아웃조인트	
	2) 기 시행한 누수보수공법	WGS지수그라우팅공법/수지계지수주입공법/표면처리공법/모르타르충전공법/유도처리	
	3) 누수면적	0.1m <sup>2</sup> 이하 / 1m <sup>2</sup> · 1m이하 / 10m <sup>2</sup> · 10m이하 / 100m <sup>2</sup> · 100m / 100m <sup>2</sup> 이상	
	4) 누수원인 A	방수미시공/방수재선택부적합/방수층파손/역방수시공결함/방수시공 소홀/매설관 설치불량/부등침하	
	5) 누수원인 B	균열	원인      구조적변형균열/일반균열/부력, 양압력 영향
			위치      천정/벽체/바닥
			상태      종균열/횡균열/사인장균열/망상균열
			폭      0.2mm이하/0.5mm이하/2.0mm이하/2.0mm이상
			길이      1m이하/3m이하/6m이하/6m이상
			깊이      30cm이하/60cm이하/90cm이하/120cm이하
		균열개소      1지간당 개소	
		구체 공극	원인      다짐불량/시공여건상
			위치      천정/벽체/바닥
상태      양호/보통/불량			
폭      10cm이하/50cm이하/50cm이상			
길이      20cm이하/40cm이하/60cm이하/60cm이상			
깊이      5cm이하/10cm이하/20cm이하/20cm이상			
공극개소      1지간당 30 개소			
신축 조인트	원인      지수판 미설치/지수판 시공불량/지수재기능상실/백업재시공불량/실링재 시공불량		
	위치      천정/벽체/바닥		
	상태      양호/보통/불량		
	파손: 폭      5mm이하/10mm이하/20mm이하/20mm이상		
	파손: 길이      1m이하/3m이하/6m이하/6m이상		
파손: 깊이      30cm이하/60cm이하/90cm이하/120cm이하			
6) 구체 표면평탄성	양호/보통/불량		

표 7. OO 지하철 0호선 ○○역 지수공법 선정을 위한 선정인자(계속)

구분	선정인자	세 부 사 항
3 등 급	1) 되메움재 토성	이토/점성토/사질토/역질토
	2) 배면다짐상태	느슨/중간/조밀
	3) 지하수위	2m이하/5m이하/10m이하/20m이하/20m이상
	4) 지하수유속	10 <sup>1</sup> cm/sec이상 / 10 <sup>1</sup> ~10 <sup>-1</sup> cm/sec / 10 <sup>-1</sup> ~10 <sup>-3</sup> cm/sec / 10 <sup>-3</sup> cm/sec 이하
	5) 구체에 작용하는 응력	수압/토압/양압/수압+토압
	6) 설계상 본 방수 적용공법	도포방수/벤토나이트방수/쉬트방수/구체방수/차수벽
	7) 구체두께	30cm이하/30~60cm/60~90cm/90~120cm/200cm이상
4 등 급	1) 슬래브 주위조건	목욕탕,식당,수영장/주차장, 도로/화단,잔디밭/콘크리트구조물/성토(토사층)/기타( )
	2) 누수보수 기대효과	지반다짐증가/박리박락방지/염해부식방지/침하균열방지/수밀성증대/철근부식방지/중성화방지/재료분리충전/실내누기제거/환경친화성 조성
	3) 누수보수정도	영구적/한시적/일시적
	4) 관심도	경제성/완벽시공/공기준수/안전시공
	5) 공사비	저가/적정/고가
	6) 순공사기간	장기간/보통/단기간/즉시

을 입력하였다. 그 결과, 해당현장의 적정지수공법은 배면지수그라우팅공법이 선정됨을 알 수 있다. 표 6과 같이 해당공법에 대한 설계조건을 확인할 수 있다.

5.2.2 시스템 적용성 검토(사례 2)

본 현장은 OO 지하철 0호선 ○○역 본선구간의 지

수공법 적용사례를 이용하였다. 조사에 의한 선정인자별 세부항목은 표 7과 같다.

표 7의 현장조사결과를 시스템에 입력하게 된다. 1등급 선정인자별 세부항목에서 누수 발생시 조건은 평상시, 지역 조건은 시가지, 주변환경은 주변하천, 구체사용용도는 도심지하철, 누수위치는 벽체, 누수량은 중량,

표 8. 복합지수그라우팅공법 설계조건

배면지수그라우팅		
설 계 조 건	설치방법	· 구조체 관통하여 방수층까지 천공후 주입구 설치 · 천공간격 1~2m
	주입구	· 소량 ϕ 14mm · 다량 ϕ 14~50mm
	주입량	· 보통포틀랜드시멘트 3~5포/m <sup>2</sup> · 1개소당 2~3회 주입
	주입압	· 1차 : 5kgf/cm <sup>2</sup> · 2차 : 10kgf/cm <sup>2</sup> 이하
	재 질	· PE 파이프 혹은 팍커
	주입재	· 보통포틀랜드시멘트 + WGS 300
중전지수그라우팅		
설 계 조 건	설치방법	· 천공 후 주입관 삽입 · 쉬트 유 : 천공간격 120~240cm · 소량: 천공간격 200~240cm/ · 쉬트와 벽체사이 천공 또는 구체 2/3까지 천공 · 쉬트 무 : 철근부위 피하여 조밀하게 천공 · 다량: 천공간격 100~120cm
	주입구	· ϕ 8~50mm
	주입량	· 첫회 : 10~20 / 2,3회 주입시는 첫회보다 소량주입 · 쉬트 파손 : 50 /개소 정량주입
	주입압	· 쉬트 들뜸부위 : 5~10kgf/cm <sup>2</sup> · 구체내 : 10~80kgf/cm <sup>2</sup>
	재 질	· PE 파이프 혹은 팍커
	주입재	· 보통포틀랜드시멘트 + WGS 200
전면지수그라우팅		
설 계 조 건	설치방법	· 철근이 위치한 피복까지 파취후 · 소량 : V자 주입구 설치후 고강도 모르타르 패칭후 주입 · 다량 : I자 주입구 설치후 고강도 모르타르 패칭후 주입
	주입구	· 소량 : ϕ 14mm · 다량 : ϕ 14~50mm
	주입량	· 소량 : 5 ~ 10 / · 다량 : 10 ~ 20 /
	주입압	· 소량 : 10kgf/cm <sup>2</sup> · 다량 : 5kgf/cm <sup>2</sup>
	재 질	· PE 파이프
	주입재	· 초미립자 시멘트 + WGS 100

누수형태 및 양상은 부분적으로 흐름상태로 입력하였다. 2등급 선정인자의 세부사항에서 누수부위는 조인트 접합부의 시공조인트, 기 시행한 보수공법은 유도처리, 누수면적은  $100\text{m}^2$  이상, 누수원인 A는 방수 시공 소홀, 누수원인 B는 구체공극에 의한 시공여건의 원인으로 벽체가 불량하고  $50\text{cm}^2$  이하의  $60\text{cm}$  이상 길이,  $20\text{cm}$  이상 깊이에 1시간 당 30개소의 공극 발생을 입력하고 구체표면 평탄성으로 보통상태를 입력하였다. 3등급 선정인자의 세부사항에서 되메움재 토성은 사질토, 배면다짐상태는 중간, 지하수위는  $0\sim 5\text{m}$ , 지하수 유속은  $10^1\sim 10^{-1}\text{cm/sec}$ , 구체에 작용하는 응력조건은 토압, 설계상 본 방수의 조건은 슈트방수, 구체두께는  $60\sim 90\text{cm}$ 를 입력하였다. 3등급 선정인자 세부항목 입력완료후 4등급 선정인자의 세부항목을 입력하게 된다. 4등급 선정인자의 세부항목은 슬래브주위조건은 도로, 누수보수 기대효과는 수밀성 증대, 누수보수정도는 영구적, 관심도는 완벽시공, 공사비는 적정, 순공사기간은 길다라는 사항을 입력하였다. 그 결과, 본 현장의 지수공법은 복합지수그라우팅공법이 선정되었음을 알 수 있다. 또한, 지수공법 선정 완료후 초기화면에서 설계조건을 선택하면 열거된 지수공법별 설계조건이 나타난다. 열거된 공법중 선정된 해당 공법을 선택하면 표 8에서와 같이 선정공법에 대한 설계조건을 확인할 수 있다.

### 5.3 선정시스템의 운영성

지하구조물의 지수공법 선정 시스템은 다양한 선정인자 데이터베이스에 의한 철저한 운영을 통하여 현장조건에 적합하도록 관리되어야 한다. 본 연구의 결과에 의한 다양한 데이터베이스의 운영을 통한 지하구조물의 지수공법 선정시스템은 현장 적용사례를 통하여 현장조건에 적합한 지수공법이 선정됨을 확인할 수 있었다. 특히 누수문제가 지하구조물의 구체보다는 주변지반의 상태에 영향을 크게 받을 경우 이에 대한 기술적인 접근이 필요한 경우도 있게 된다. 이와 같은 경우 각각의 조건을 다양하게 포함하고 있는 엄선된 선정인자 데이터베이스로 구성된 지수공법의 선정시스템은 현장조건에 보다 현실적으로 접근이 가능하도록 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 지하구조물의 누수발생시 종합적으로 지수가 가능한 WGS지수그라우팅공법(전면지수그라우팅공법, 충전지수그라우팅공법, 배면지수그라우팅공법, 복합지수그라우팅공법)은 지하구조물에서

다양한 조건으로 발생하는 누수현상에 적절히 대응할 수 있을 것으로 판단된다.

## 6. 결론

본 연구는 전문가의 지식과 경험을 최대한 활용하고 실제 수행된 수많은 현장시공 실적을 데이터베이스화 하여 현장조건에 가장 경제적이고 합리적인 지수공법을 선정할 수 있는 지수공법 선정시스템 개발에 관한 것으로서 연구결과를 요약, 정리하면 다음과 같다.

- (1) 누수유형별 지수그라우팅 시스템 개발에 있어서 지금까지 누수조건에 관계없이 일괄적으로 처리해온 기존 방법에서 탈피하여 누수문제에 대해 체계적이고 합리적으로 자료수집, 분석·고찰을 통해 데이터베이스를 구축하고, 이를 기반으로 하여 누수유형에 적합한 지수공법 선정시스템모형을 제시하였으며 또한 사례연구를 통하여 제시된 선정시스템의 적용성을 검증함으로써 신뢰성 있는 결과를 얻었다.
- (2) 자료의 누적이나 증가시 효율적인 데이터베이스의 관리를 위해 관계형 데이터베이스를 이용하여 데이터를 수집, 분석함으로써 추후 구축되는 데이터베이스의 확장성을 고려할 수 있게 하였다.
- (3) 지하구조물 지수공법 선정시스템을 구성하는 주요 요소는 선정인자 데이터베이스, 지수공법 데이터베이스, 설계조건 데이터베이스로 상호 연관성에 의한 관계형 데이터베이스로 구성되어 있다. 선정인자 데이터베이스는 73개의 설문조사 항목 중에서 26개의 필수항목을 4개의 위계성 등급으로 구분된다. 지수공법 데이터베이스는 국내에 적용실적이 많은 10개의 주요 공법으로 이루어졌다. 설계조건 데이터베이스에서는 10개의 지수공법에 대한 적용범위와 설계조건에 대한 자료가 제공된다.
- (4) 지수공법 선정시스템에서 구축된 지수공법 데이터베이스를 설계단계에서 이용할 경우 지수공법 선정을 위한 시간과 인력이 단축되고, 지수공법 선정시의 오류를 사전에 파악할 수 있으며, 시공단계에서 사용할 경우, 설계단계에서 선정된 지수공법을 현장조건에 따라 재확인함으로써 지수공법의 타당성을 분석할 수 있고, 향후 유지관리에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.



## 참 고 문 헌

1. 김명성(1987), "콘크리트조 건물 외벽의 방수기법에 관한 연구", *대한건축학회논문집*, 제3권, 제2호, pp.121-133.
2. 안갑선(1980), "콘크리트 구조물에 있어서 균열발생의 원인과 보수보강방법", *대한건축학회지*, Vol.24, No.92, pp.70-74.
3. 서울그라우팅 연구소(2002), *구조물 누수보수공사 사례집*, 서울그라우팅 연구소, 서울, pp.1-163.
4. 서울대학교 공학연구소(1994), *건물부위에 따른 최적 방수기법 선정시스템 개발에 관한 연구*, 서울대학교 공학연구소, 서울, pp.10-84.
5. 심재원(1993), *철근콘크리트 구조물에 발생한 균열보수를 위한 전문가시스템 개발*, 석사학위논문한양대학교, pp.29-58.
6. 이정규, 이종인(1996), "지하콘크리트 구조물의 누수량 산정에 관한 연구", *한양대학교 산업과학논문집*, pp.27-32.
7. 천병식, 최춘식(2001), "지하구조물의 누수유형에 따른 시멘트 그라우팅 방수기법에 관한 연구", *한국지반공학회 논문집*, Vol. 17, No.5, pp.181-196.
8. 천병식(1991), "지반주입에 의한 대수층에서의 차수효과 및 내구성", *대한토목학회 논문집*, 제11권, 제4호, pp.189-200.
9. 吉田迪雄(1992), *注入工法の合理化, 施工技術*, Vol.2, No.10, pp.22-28.
10. ACI(1987), *Repair and Rehabilitation of Concrete Structures*, SCM-16.
11. ACI(1989), *Repair of Concrete Structures Assessments, Methods and Risk*, SCM-21.
12. Hakami E. and Stephansson. O.(1993), "Experimental Techniques for Aperture studies of Intersecting Joints", *EUROCK '93*, Vol.1, A.A.Balkema, Rotterdam, pp.301-308.

(접수일자 2002. 8. 13, 심사완료일 2002. 11. 19)