

# 다구찌 기법을 활용한 흙막이 가설공법 최적설계 방안

문성우<sup>1</sup> · 김성부\*

<sup>1</sup>부산대학교 사회환경시스템공학과

## Design Optimization of Earth Retaining Walls Using the Taguchi Method

Moon, Sungwoo<sup>1</sup> · Kim, Sungbu\*

<sup>1</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University

**Abstract** : Temporary structures provide the accessible working area when building a permanent building structure in the construction operation. Executed in a natural environment, the temporary structure is prone to the external influence factors of underground water, soil conditions, etc. These factors should be carefully considered in designing the temporary structure. The objective of this study is to apply the external influence factors in designing a more reliable earth retaining wall. The research methodology is based on the Taguchi method that has been studied to improve product quality in the industry. An orthogonal array was developed to analyze the interaction between the external influence factors and the internal influence factors. A sample case study demonstrated that the Taguchi method can be used in planning a more reliable temporary structure for earth retaining walls.

**Keywords** : Temporary Construction, Taguchi Method, External Influence Factor, Internal Influence Factor, Design Functions

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

가시설 공사는 건설공사 수행 시 목표로 하는 구조물을 시공하기 위한 임시 구조물로서 시공중 구조물에 대한 지지, 작업자 공간 확보, 시공 장비의 접근 등 역할을 한다. 자연조건에서 작업하는 건설공사의 여건상 가시설 공사는 현장주위의 자연환경에 많은 영향을 받게 된다. 가시설 공법은 자연조건에 영향을 대응하기 위해서 다양한 구성요소를 가지게 된다. 예를 들어서 흙막이 공법은 H-파일, 토류판, 앵커 등 다양한 구성요소를 갖고 있다. 최적의 설계기능을 구현하기 위해서는 가시설과 관련한 지하수, 토질 등 자연환경의 영향을 충분히 고려하여 계획되어야 한다. 즉, 설계기능을 최적화하기 위해서는 자연환경의 영향을 고려하고, 설계 대안을 제시하여 설계기능을 향상시켜야 한다.

흙막이 공법 적용 시 설계기능의 효과를 높이기 위해서는

흙막이에 영향을 주는 외부 영향요인과 흙막이가 가지는 내부 설계요인을 구분하여 검토해야 한다. 여기서 내부 설계요인의 결정은 외부 환경요인의 영향을 최소화할 수 있는 방향에서 결정되어야 한다. 설계단계부터 외부영향요인을 고려함으로써 자연조건이 변하더라도 이에 대응할 수 있도록 성능이 강하고 외부의 영향에 둔감한 설계기능을 제공할 수 있어야 한다. 이를 위해서 설계기능 검토 시 외부 영향요인을 명확히 분석하고, 이에 대응할 수 있는 적절한 조합의 내부 설계요인을 제공하여 최적화할 수 있어야 한다. 즉, 외부 영향요인에 둔감한 흙막이 공법을 적용하기 위해서는 내부 설계요인을 찾고 이를 적절하게 조합해야 한다.

가시설 공법 적용 시 설계기능을 높이기 위해서는 내부요인뿐만 아니라 자연조건에서 발생하는 외부영향요인의 영향을 고려해야 한다. 외부영향요인은 자연환경에서 임시 구조물에 작용하는 영향으로써 시공자가 컨트롤할 수 있는 범위 밖에 있는 요소들이다. 설계기능 시 단순히 가시설 공법의 기능만을 고려하게 된다면 외부요인이 발생 시 어떻게 대응하는지에 대한 준비가 부족하게 될 것이다. 따라서 가시설 공법을 적용할 때에는 설계기능 구현부터 외부영향요인을 고려하여 최적화할 수 있는 방향으로 문제를 해결해야 한다.

본 논문에서는 다구찌 기법을 사용하여 평가함으로써 설계

\* Corresponding author: Kim, Sungbu, Department of Technology Business Policy, Pusan National University, Busan 46241, Korea  
E-mail: ksbu216@hanmail.net  
Received December 14, 2016; revised -  
accepted January 16, 2017

기능의 최적화를 도모한다. 다구찌 기법은 기존 실험계획법과 달리 불필요한 반복적인 실험을 배제하고, 경제적인 실험 방법을 제공함으로써 제품설계 시 품질, 생산성, 비용 등 설계요소 관점에서 최적화를 유도할 수 있도록 돕는다(Karna et al., 2012). 연구과정에서 다구찌 기법을 접목함으로써 가시설 설계 시 외부요인에 대응하기 위한 설계기능요소를 찾고, 설계기능 요소를 조합하여 최적화시킬 수 있는 방안을 찾는다.

### 1.2 연구방법 및 절차

가시설 구조물 설계 시 다구찌 기법을 적용하기 위해서는 현장주변의 자연조건과 가시설 구조물의 특성을 분석하여 자연조건의 변화에 둔감한 내구성을 가져야 한다. 본 연구에서는 외부영향요인과 내부영향요인을 조합하여 분석함으로써 최적의 설계방안을 제시했다. 논문목적을 달성하기 위해서 1) 문제분석 분석; 2) 외부요인 도출; 3) 설계기능 도출; 4) 직교배열표 구성; 그리고 5) 최적설계조합 구성의 순서로 진행했다(Fig. 1).

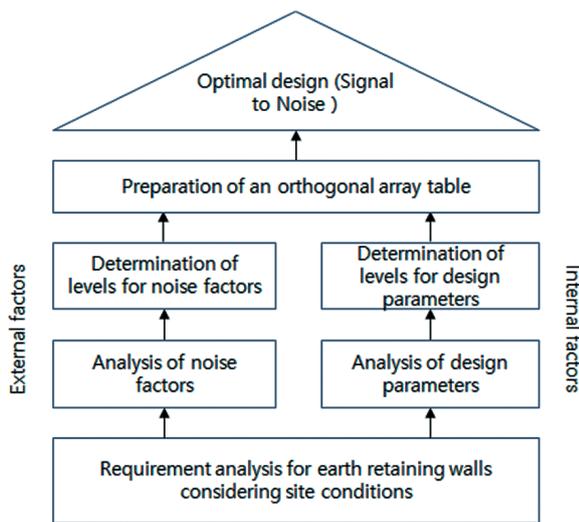


Fig. 1. Research procedure

첫째, 문제분석은 특정한 현장조건에 따라서 가시설 공사 시 발생하는 문제점을 찾는 것이며, 둘째, 외부요인 도출은 가시설 구조물이 가지는 외부영향요인을 분석하는 것이고, 셋째, 설계기능 도출은 가시설 구조물이 가지는 설계기능을 분석하는 것이며, 넷째, 직교배열표 구성은 외부영향요인과 내부영향요인을 조합한 실험절차를 구성하는 것이다. 마지막으로, 최적설계조합 구성은 직교배열표를 기준으로 수행한 실험결과를 적용하여 외부영향요인에 대응할 수 있는 최적의 설계기능 수준을 결정하는 것이다.

## 2. 다구찌 기법

### 2.1 다구찌 기법과 설계요인분석

다구찌 기법은 구현한 제품의 품질개선 기법으로 제어 가능한 인자로 제어할 수 없는 노이즈(환경인자, 잡음요인)에 강한 설계(Robust Design)를 하는 것이다(Lee, 2003). 다구찌 기법을 적용하면 많은 수의 설계변수가 존재할 경우 적은 수의 실험을 수행하여 설계기능을 최적화할 수 있게 한다(Taguchi, 1986). 다구찌는 제품생산에 영향을 가져오는 인자를 제어인자와 비제어인자로 구분했다. 제어인자는 내부영향요인으로써 설계기능과 같이 그 수준을 결정할 수 있는 인자이고, 비제어인자는 외부영향요인으로써 자연조건과 같이 그 수준을 결정할 수 없는 인자이다. 다구찌 기법은 제어인자와 비제어인자의 구성을 통하여 제어가 불가능한 인자가 가져오는 품질불량을 최소화하는 실험설계방법이다.

다구찌 기법에서는 제어인자와 비제어인자를 적용한 제품 성능 실험 시 실험횟수를 줄여도 기대하는 실험결과를 얻을 수 있게 직교배열법을 적용하고 있다. 외부영향요인과 내부영향요인을 함께 고려할 때 실험에 포함되는 인자의 수가 많을 경우 모든 조합을 구하여 실험을 하면 시간과 비용이 많이 소요될 수 있다. 그러나 직교배열표는 일종의 부분 실험법으로써 직교배열법을 이용하여 적은 실험횟수를 수행해도 실험에서 파악하고자 하는 인자들 간 상호관계를 알 수 있다. 예를 들어서 3개의 인자를 가지는 실험일 경우 전통적인 실험법에서는 인자 간의 연관관계를 분석하기 위해서는 모두 8번 실험을 해야 하지만 직교배열법에서는 모두 4번 실험을 하면서 원하는 실험결과를 얻을 수 있다.

파라미터 설계는 직교배열표를 이용하여 비제어인자가 품질 목표치에 가져오는 영향을 분석하는 것이다. 파라미터 설계는 파라미터, 즉 제어 가능한 설계변수를 중심으로 제품품질이 제품주변의 잡음요인에 둔감하면서 목표품질을 확보할 수 있도록 최적의 파라미터, 즉 설계변수의 수준을 결정하는 것이다(Lee, 2003). 파라미터 설계에서는 외부영향요인과 내부영향요인을 조합하여 설계목표치를 검토함으로써 외부영향요인의 변화에 둔감한 내구성 있는 품질을 구하고자 하는 시도이다. 파라미터 설계에서 최적조건을 찾기 위해서 잡음요인과 설계변수를 포함하여 실험하는 직교배열표가 적용된다.

파라미터 설계 시 직교배열표에서는 내측배열에 제어인자를, 외측배열에 비제어인자를 배치하고, 부분 조합을 통하여 제어인자와 비제어인자 간 상호관계를 파악한다. 전통적인 실험계획법에서는 제어 가능한 설계인자만을 대상으로 최적화를 시키지만 파라미터 설계에서는 비제어인자를 함께 고려하여 설계초기부터 비제어인자를 컨트롤하기 위한 방안을 찾고, 결과적으로 외부영향요인에 둔감한 제품을 생산할 수 있

게 된다.

다구찌 기법에서는 품질 목표치를 손실함수를 사용하여 정의한다. 손실함수는 망목특성, 망소특성 그리고 망대특성 등 3가지 특성을 가진다. 첫째, 망목특성은 제품이 목표로 하는 품질 목표치가 있는 경우이다. 예를 들어서 제품이 가지는 규격은 일정하게 생산되어야 하며, 규격을 벗어나게 되면 불량으로 손실이 발생한다. 망소특성은 제품이 목표로 하는 품질 목표치가 적으면 적을수록 좋은 경우이다. 예를 들어서 제품이 가지는 마모율, 진동 등은 적으면 적을수록 좋은 품질을 가지게 된다. 셋째, 망대특성은 제품이 목표로 하는 품질 목표치가 크면 클수록 좋은 경우이다. 예를 들어서 제품이 가지는 안전율, 신뢰성 등은 크면 클수록 좋은 품질을 가지게 된다.

다구찌는 품질이 가지는 외부영향요인에 대한 둔감성을 나타내기 위해서 Signal to Noise (SN)비를 적용했다(Fig. 2). 시스템에 전달된 신호입력은 시스템의 출력에 영향을 주게 되며, 이러한 잡음이 시스템의 출력에 가져오는 영향을 분석해야 할 필요가 발생한다. SN비는 신호입력이 시스템에 투입될 때 이를 방해하는 노이즈(noise, 잡음)가 출력에 어는 정도 영향을 가져오는 가를 상대적으로 계산하여 표시하는 것이다.

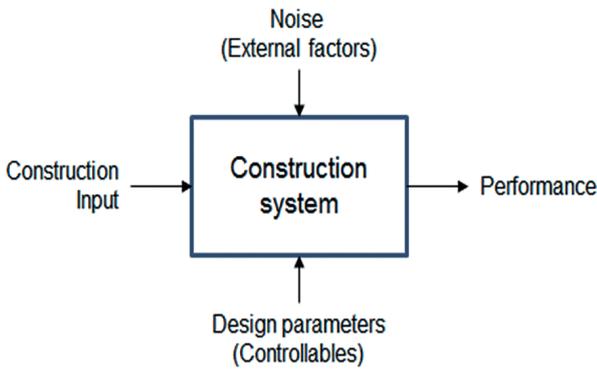


Fig. 2. Signal to noise

## 2.2 관련연구

다구찌 기법은 품질관리에 도입되어서 제품품질과 생산성 향상에 높은 기여를 했다. 다구찌 기법의 특성을 이용하여 품질관리 이외 분야에서 활발하게 적용성이 연구되고 있다(Cho and Park, 1998). 예를 들어서 Cho and Park는 절삭가공 실험이 가지는 문제점을 해결하기 위해서 다구찌 기법을 적용했으며, 다구찌 기법을 통해서 대상 실험의 수행시간과 비용을 최소화 시키고, 효율적인 최적조건을 도출했다.

다구찌 기법은 품질관리뿐만 아니라 다양한 분야에서 의사결정을 돕기 위해서 적용됐다. Seo and Ahn (2004)은 다구찌 기법을 인터넷 쇼핑물의 서비스 품질을 측정하기 위해서 적용했다. 연구자들은 정량적인 서비스 측정 및 통제를 위해

서 다구찌의 품질손실함수를 사용했다. 당 연구에서는 특징적으로 인적 서비스, 시스템 서비스, 서비스 품질손실, 고객만족 등 변수를 찾고 변수간의 상충관계를 분석하여 품질손실함수를 적용했으며, 이러한 과정을 통해서 서비스 품질과 고객만족과의 관계를 객관적으로 정량화할 수 있었다.

Lee (2010)은 공급사슬관리(Supply Chain Management)에서 발생하는 정보흐름을 효과적으로 활용하기 위한 방안으로 다구찌 기법을 적용했다. 연구자는 기상현상과 관련하여 맥주수요를 일관되게 예측하기 위해서 다구찌 실험계획법을 도입하여 의사결정방법을 제시했다. 파라미터 설계에서는 강수예보를 예측하기 위한 판단기준을 의사결정자가 컨트롤할 수 있는 제어인자로 가정하고, 시장 수요량의 변동, 생산 리드타임 등 변수를 의사결정자가 컨트롤할 수 없는 잡음인자로 설정했다. 제어인자와 잡음인자를 적용하여 공급사슬 전체의 누적비용을 최소화하는 방안을 제시했다.

Huh et al. (2004)는 구찌 기법을 다속성의사결정(Multi-attribute Decision-Making)에 적용했다. 의사결정시 의사결정 환경에 존재하는 다수의 속성을 1부터 9까지의 척도를 이용하여 정성적으로 분석하고, 다구찌 기법의 파라미터 설계방법을 이용하여 가중치를 부여할 수 있었다. 연구과정에서 연구자들은 손실함수 개념을 도입하여 의사결정에 관여하는 다수의 속성들을 손실이라는 통일된 비용을 목적함수로 변환하여 객관적인 판단을 하도록 유도 했다는 특징을 가진다.

Kwon and Lin (2003)은 균열 등 구조물에서 발생하는 손상(damage)의 위치를 예측하기 위해서 유한요소법(Finite Element Analysis, FE)과 접목하여 다구찌 기법을 적용했다. 당 연구에서는 직교배열표를 기준으로 하여 FE 모델에서 사용하는 파라미터 업데이트에 적용했다. 또한 SN (Signal to Noise)비를 최대로 함으로써 외부영향요인에 대응하여 내구성을 가지는 설계가 가능하도록 했다.

문헌조사에 따르면 토목분야에 다구찌 기법이 많이 적용되고 있지 않는 것으로 나타났다. 그러나 토목 시설물이라는 것은 특성상 복합적인 구조물의 성격을 가지고 있기 때문에 구조물을 구성하는 세부 설계기능을 검토하고 최적으로 구현하기 위해서 다구찌 기법을 적용할 수 있다. 특히 가시설 공법의 경우 시공과정에서 임시적으로 사용되는 구조물이기 때문에 다구찌 기법을 활용하여 현장여건을 고려한 최적의 설계정근방법이 필요하다.

## 3. 흙막이 공법의 영향요인 분석

### 3.1 흙막이 가시설 공사 예

흙막이 공법은 도심지에서 지하구조물 설치 시 지반의 붕괴를 방지하기 위해서 설치하는 임시구조물이다. 흙막이 공법을 통하여 지형을 수직으로 지지함으로써 작업자가 활동할

수 있는 공간을 제공한다. 흙막이 공법을 설계할 때는 지반의 지하수 수위, 빌딩과 도로 등 현장인근의 구조물, 지반토질의 성질 등을 충분히 고려하여 준비해야 한다. 흙막이가 설계에서 의도하는 기능을 구현하지 못하여 붕괴가 발생할 경우에는 인근건물과 도로의 침하, 작업자 부상 등 심각한 문제를 가져오게 된다.

본 연구에서는 흙막이 공법의 특성을 고려하여 다구찌 기법을 적용한다. 흙막이 공법의 특성상 자연환경에 노출되어 시공되기 때문에 외부영향요소가 임시 가설물 구조에 가져오는 영향을 충분히 고려해야 한다. 자연지반조건에서 시공되는 흙막이 공법의 특성상 자연환경 등 외부영향요인과 설계인자인 내부영향요인의 상호관계를 파악함으로써 신뢰성 높은 가설물 구조를 설계할 수 있을 것이다.

### 3.2 흙막이 공사 시 외부영향요인

흙막이는 지반굴착 시 지반을 지지하기 위한 구조물이라는 특성에 따라서 자연조건의 영향을 크게 받게 된다. 현장주변 자연조건은 흙막이와 같은 임시 가설물이 기능하는데 있어서 구조적 안정성에 영향을 미친다. 이러한 외부영향요인은 흙막이공법 적용 시 잡음인자로서 고려해야 하며, 설계인자에 가져오는 영향을 고려해야 한다. 가설 구조물의 특성에 따라서 외부영향요인에 민감하게 반응할 수도 있고, 또는 특정 외부영향요인에는 둔감하지만 또 다른 특정 외부영향요인에는 민감하게 반응할 수 있다. 따라서 흙막이와 같은 가설 구조물 공사에서는 외부영향요인을 충분히 고려하여 임시 구조물의 기능이 보장되도록 해야 한다.

Table 1은 흙막이 공법 적용 시 잡음인자로 작용하는 외부영향요인을 보여준다. 이러한 잡음인자들은 일정한 수준의 영향을 가지는 것이 아니라 자연현상에 따라서 수준이 변하게 된다. 예를 들어서 평소에는 낮은 수위의 지하수가 강우 시에는 급격히 증가하여 구조물에 수압을 가하게 된다. 따라서 잡음인자의 수준을 고려하여 임시 구조물을 설계해야 한다. 이 때 개별 잡음인자뿐만 아니라 관여하는 모든 잡음인들의 수준을 동시에 고려함으로써 현실적인 영향도를 측정해야 한다.

표에서는 지하수위, 토질성격, 주변 시설물, 지형 등 다수의 외부영향요인을 보여준다. 이러한 외부영향요인은 현장조사 등을 통하여 상태를 분석하게 된다. 현장조사 결과를 바탕으로 외부영향요인을 확정하고, 이에 대응하기 위해서 흙막이의 성격을 결정하게 된다. 그러나 지하수위 또는 흙의 유동성은 변동성을 가지고 있기 때문에 가시설물의 안정성을 위해서라면 최댓값을 가정하여 설계에 반영해야 한다. 그러나 최댓값을 반영할 경우는 과도한 안전율로 인하여 공사비 상승의 우려가 발생하게 된다.

따라서 본 연구에서는 흙막이 공사와 관련한 외부영향요인 중에서 지하수위와 사면활동을 고려대상으로 정했다. 지하수위와 사면활동은 흙막이 공법의 특성에 관계없이 일반적으로 고려되어야 할 잡음인자로서 중요도가 크기 때문에 외부영향요인으로써 고려됐다. 이 중 지하수위 조건에서 수준(1)은 10m, 수준(2)는 5m, 그리고 수준(3)은 3m로 분류했으며, 사면활동 (토사 유동성)에서 수준(1)은 고, 수준(2)는 중, 그리고 수준(3)은 저로 분류했다. 외부영향요인의 수준을 구분함으로써 설계인자와 관련된 잡음인자에 대하여 대응할 수 있는 설계인자를 선정하게 된다.

Table 1: External factors in designing earth retaining walls

External factors	Description	Remarks
Level of underground water	Underground water gives pressure on the inner part of earth retaining walls. The pressure varies according to the level of underground water.	Used
Amount of underground water	The pressure gets higher on the inner part of earth retaining walls as the quantity of underground water increases.	Not used
Characteristics of excavated soils	The characteristics of underground soil should be evaluated to prevent sliding of cut slope.	Not used
Shape of ground surfaces	The type of earth retaining walls should be designed considering the shape of ground surface.	Not used
Soil fluidity (Slope movement)	Soil fluidity affects the variation of earth pressure on the inner part of earth retaining walls.	Used
Difference in ground heights	The difference in ground heights should be considered in selecting the type of earth retaining walls.	Not used
Ground resistance	Ground resistance affects the embedded depth of H-piles and anchors in designing earth retaining walls.	Not used
Distance to neighboring building structures	The ground disturbance badly affects surrounding building structures during excavation.	Not used
Depth of foundations for neighboring building structures	The depth of building foundation affects the embedded depth of H-piles and anchors in designing earth retaining walls.	Not used
Type of foundations for neighboring building structures	The type of building foundation affects the embedded depth of H-piles and anchors in designing earth retaining walls.	Not used
Underground utility	Underground facility should be evaluated in selecting the type of earth retaining walls.	Not used

### 3.3 흙막이 공사 시 내부영향요인

외부영향요인에 대응하기 위해서는 지하수 대책수립, 연약지반개량, 강성이 큰 흙막이 설치, 충분한 근입길이 확보, 계

측관리 등 안전대책을 마련해야 한다. 내부영향요인은 외부 영향요인에 대응하기 위해서 흙막이 구조물에 반영해야 할 설계인자를 의미한다. 구조물 설계 시 외부영향요인을 동시에 고려함으로써 외부 지반조건의 변화에 대응할 수 있는 신뢰성 높은 가설 구조물을 계획할 수 있게 된다.

본 연구에서는 흙막이 공법으로 1) H-Pile 토류벽 공법, 2) 시트파일 공법, 그리고 3) 주열식 흙막이 공법을 적용했다. H-Pile 토류벽 공법은 H-Pile을 설치하고 토류판을 사용하여 흙막이를 하는 방법으로 차수성이 없으나, 견고한 지반에도 시공이 가능하고 수압이 없어서 가설 구조물 시공에 유리하다. 시트파일 공법은 접속성이 있는 시트파일을 맞물리게 하여 연속적으로 시공하는 방법으로서 차수성이 높으나, 수압으로 인하여 H-Pile + 토류판 공법과 비교하여 가설구조물 응력이 크게 작용하게 된다. 주열식 흙막이 공법은 흙막이 벽으로서 시멘트 밀크를 주입하고, 시멘트 밀크와 흙을 교환하여 소일 시멘트벽을 조성한 후 그 내부에 일정 간격으로 H-Pile을 세우는 방법이다. Fig. 3는 본 연구의 대상으로 고려한 흙막이 공법을 보여준다.

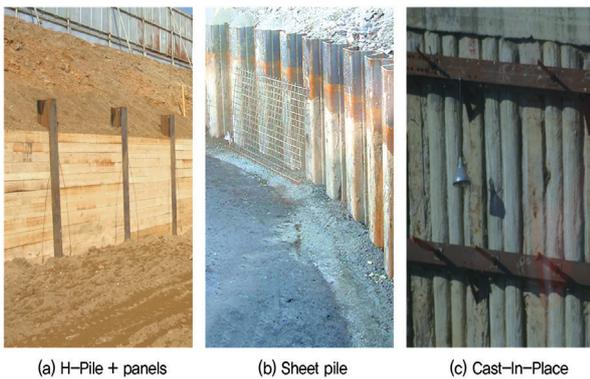


Fig. 3. Types of earth retaining walls

Table 2는 흙막이 공법 적용 시 설계인자로 고려되어야 할 내부영향요인을 보여준다. 흙막이 형식은 지형적 특성을 고려하여 적합한 옹벽형식을 결정해야 한다는 것을 의미하며, 근입깊이는 수평압을 고려하여 H-빔이 안정하게 가시설 구조물을 지지하는 역할을 수행해야 한다는 의미이고, 어스앵커는 H-빔이 적정하게 수평압에 대응하기 위해서 가시설 구조물을 지반에 정착시켜야 한다는 것을 의미한다. 이러한 설계인자들은 자연현상에 따라서 변화하는 잡음인자에 대응할 수 있도록 내구성이 강해야 한다. 잡음인자들을 고려하여 임시 구조물을 설계함으로써 현장조건에 맞은 설계를 계획할 수 있으며 경제적인 시공이 가능하게 된다. 잡음인자와 설계인자의 조합을 평가함으로써 설계의 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

Table 2. Description of design parameters

Design parameter	Description
Type of earth retaining walls	Determin the type of earth retaining walls considering the characteristics of ground soils
Depth of earth anchors	Hold the temporary structure of H-piles considering the horizontal earth pressures
Depth of pile embedments	Hold to the ground for the temporary structure of H-piles, sheet piles, etc. to resist to the horizontal earth pressures
Type of wales	Transfer the resistance force of earth anchors to H-piles, sheet piles, etc.

본 연구에서는 Fig. 3의 흙막이 가시설 공법과 Table 2의 내부영향요인을 설계인자로 고려하여 설계 시 계획되어야 할 설계수준을 결정했다. 내부영향요인 고려에서 첫째, 흙막이 공법의 수준(1)은 H-빔+토류벽 공법, 수준(2)는 시트파일 공법, 수준(3)은 주열식 흙막이 공법으로 정했다. 둘째, 어스앵커에서 수준(1)은 12m, 수준(2)는 8m, 수준(3)은 5m로 정했다. 셋째, 근입깊이에서 수준(1)은 1.5m, 수준(2)는 1m, 수준(3)은 0.5m로 정했다. 넷째, 띠장형식에서 수준(1)은 H형강, 수준(2)는 Channel 형강+브라켓, 수준(3)은 Channel 형강으로 정했다. 설계인자들을 수준별로 분류함으로써 잡음요소, 즉 외부영향요인과의 관계를 분석할 수 있게 하고, 적정한 횡수의 실험을 수행하고, 경제적인 결과를 얻을 수가 있게 된다.

## 4. 파라미터 설계

### 4.1 직교배열표 작성과 영향평가

파라미터 설계는 외부영향요인과 내부영향요인을 조합하여 설계목표치를 검토하여 외부영향요인의 변화에 둔감한 내구성 있는 품질을 구하고자 하는 시도이다. 흙막이 공사에 파라미터 설계를 적용하기 위해서 외부영향요인인 지하수위와 토질형식, 그리고 내부영향요인인 옹벽형식, H-빔 규격, 근입깊이와 어스앵커 등 설계인자를 조합하여 고려할 수 있다. 흙막이 공법 설계 시 외부영향요인과 내부영향요인 간 상호작용하는 결과를 분석하기 위해서는 외부영향요인과 내부영향요인의 조합을 구성하여 각각 검토를 해야 하지만 이 경우 과도한 수의 조합이 발생되므로 본 연구에서는 직교배열표를 적용했다.

Table 3은 파라미터 설계를 위해서 흙막이 공법과 관련된 외부영향요인과 내부영향요인을 적용한 직교배열표를 보여준다. 외부영향요인은 2개의 잡음인자와 각각 3개의 수준으로 구분됐으며, 내부영향요인은 4개의 설계인자와 각각 3개의 수준으로 구분됐다. 평가횡수의 중복을 방지하고, 경제적으로 평가하기 위해서 다구찌 기법의 24 배열표 34 배열표 요인실험을 사용했다. 외측배열에는 지하수위와 토사 유동성 등 외부영향요인이 위치하고, 내측배열에는 흙막이 형식, 어

스앵커 길이, 근입깊이, 띠장형식 등 내부영향요인이 위치했다. 외측배열은 4개의 조합이 적용되고, 내측배열에는 9개의 조합이 적용되어서 총 36개의 조합이 평가됐다.

직교배열표를 작성한 후 잡음인자의 영향을 가장 적게 받으면서 제품특성의 목표치에 가장 근접한 설계인자의 조건을 찾았다. 흠막이 공법인 경우 실험품질치는 구조물의 안정성(신뢰성)을 적용했다. 각각의 조합에 대한 실험품질치를 표시하기 위해서 정성적인 방법으로 흠막이 구조물의 내구성을 평가했다. 콘트리트 강도와 같은 경우는 실험을 통하여 정량적으로 실험품질치를 구할 수 있겠으나 가설 구조물과 같은 경우 종합적인 내구성을 정량적으로 구하기 힘들기 때문에 정성적인 평가방법을 사용했다. 평가를 위해서 5명의 전문가가 참여하여 평가를 수행했다. 이를 위해서 흠막이 가시설 공법에 적용 시 실험품질치를 1부터 10까지 정성적인 기준을 가지고 판단했으며, 전문가는 평가 값을 사용하여 각각의 조합에 대한 내구성을 주관적으로 판단하여 평가했다.

Table 3. Orthogonal table for external factors and design parameters

Underground water level Soil fluidity (Slope movement)					Outer array (External factors)				$\bar{y}$	SNL
					1	1	2	2		
					1	2	1	2		
Test No.	Inner array (Design parameters)				Response					
	Type of earth retaining walls	Depth of earth anchors	Depth of pile embedments	Type of wales						
1	1	1	1	1	3	3	6	4	4.00	11.07
2	1	2	2	2	4	5	7	4	5.00	13.34
3	1	3	3	3	8	5	4	5	5.50	14.03
4	2	1	2	3	4	6	4	8	5.50	13.76
5	2	2	3	1	6	6	5	8	6.25	15.56
6	2	3	1	2	6	7	7	8	7.00	16.77
7	3	1	3	2	7	7	5	9	7.00	16.33
8	3	2	1	3	6	8	5	7	6.50	15.86
9	3	3	2	1	6	6	5	4	5.25	14.03
Re-marks	Scale values for evaluating the design goal of 'stability': Very low: 1~2; Low: 3~4; Moderate: 5~6; High: 7~8; Very high: 9~10									

- 주) 1. 5명의 전문가로부터 받은 평가치를 모두 적용하여 SNL 값을 계산함.  
 2. 내측배열의 각 분류는 다음과 같다.  
 √ 흠막이 형식: 수준(1) H-파일+토류벽; 수준(2) 시트파일 공법; 수준(3) 주열식 흠막이 공법  
 √ 어스앵커: 수준(1) 5m; 수준(2) 8m; 수준(3) 12m  
 √ 근입깊이: 수준(1) 1.5m; 수준(2) 1m; 수준(3) 0.5m  
 √ 띠장형식: 수준(1) H형강; 수준(2) Channel 형강+브라켓; 수준(3) Channel 형강  
 3. 외측배열의 각 분류는 다음과 같다.  
 √ 지하수위 조건: 수준(1) 10m; 수준(2) 5m; 수준(3) 3m  
 √ 토사 유동성: 수준(1) 고; 수준(2) 중; 수준(3) 저

## 4.2 Signal to Noise 비

SN비는 신호대 잡음의 비율(Signal to Noise Ratio)을 나

타내며, 신호입력과 잡음이 주는 영향의 비율로 나타낸다. 다 구찌 기법에서 SN비는 문제에 맞추어서 다양하게 변형하여 사용할 수 있다. 직교배열표에서 찾은 품질목표치를 사용하여 SN비를 구한 후 이를 기준으로 최적의 설계인자 조합을 제시할 수 있다. 일반적으로 SN비는 목표로 하는 품질목표치에 따라서 다양하게 변형시켜서 활용할 수 있다(허준영 외, 2004). 본 논문에서는 흠막이 공법에 적용하기 위한 설계변수의 최적화를 품질목표로 한다는 특징을 고려하여 SN비를 다음 식(1)과 같이 나타냈다.

$$SN비 = \frac{\text{신호입력이 출력에 기여한 량}}{\text{잡음이 출력에 나쁘게 기여한 량}} \text{----- (1)}$$

$$= \frac{\mu^2 \text{의 추정치}}{\sigma^2 \text{의 추정치}}$$

식(1)은 통계공식을 적용하고, log 함수로 나타낼 수 있다(이우선, 2003). 직교배열표에서 구성된 흠막이 공법은 안정성을 최대값으로 하는 망대특성을 가지고 있으므로 다음 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$SN비 = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \text{----- (2)}$$

따라서 Table 3의 반응치 데이터를 사용하여  $\bar{y}$ 와 SNL을 구할 수 있다. 단, 여기서 반응치는 5명의 전문가가 제시한 수치 데이터를 모두 적용하여 분석의 신뢰성을 높였다. 결과적으로  $\bar{y}$ 와 SNL을 구할 수 있었으며, Table 3의 오른쪽 2개의 열에 표시되어 있다.

파라미터 설계에서는 제품설계시 잡음의 영향하에서 품질목표치의 분산이 작고, 평균이 목표치에 근접하도록 하는 제어인자(설계변수)의 조건을 찾는 것이다. 제어인자의 최적조건에서 품질목표치의 변동이 벗어날 때에는 허용차를 주어서 품질변동에 주는 부품을 교환하거나 적절한 대응방안을 마련하여 허용차를 줄여야 한다. 따라서 흠막이 공법은 망대특성을 가진다는 점을 고려하여 Table 1의 직교배열표에서 나열된 설계기능의 조합에서 SNL 값이 가장 큰 설계기능조합 6번을 선택해야 한다.

여기서, 설계기능조합 6번은 시트파일공법, 앵커길이 8m, 근입깊이 1.5m, 띠장형식 L형강으로 구성된다. 이것은 파라미터 설계결과 외부영향요인으로 지하수위와 토사 유동성이 고려됐을 때 설계기능조합 6번이 최적의 설계안이 된다는 것을 의미한다.

## 5. 결론

흠막이 공법은 자연조건의 영향에 노출되어서 설계기능을 수행해야하기 때문에 설계부터 외부영향요인을 고려해야 하며 최적의 설계변수를 설정해야 한다. 이러한 필요성에 따라서 본 논문에서는 다구찌 기법을 적용하여 흠막이 공법 가시설 공사 시 외부영향요인과 내부영향요인을 고려한 설계기능 구현방법을 제시했다. 연구과정에서는 외부영향요인 분석과 실험수준 결정, 그리고 내부영향요인 분석과 실험수준 결정을 통하여 파라미터 설계를 적용했다. 파라미터 설계를 통하여 SN비를 구할 수 있었으며, 이를 통하여 흠막이 공법의 안정성이 가지는 망대특성을 고려하여 최대 SN비를 가지는 설계변수 조합을 선정했다.

본 논문에서 다구찌 기법을 적용한 결과 현장조건을 고려한 흠막이 공법의 설계기능 구현이 가능하다는 것을 보여줬다. 설계기능 구현방법과 다구찌 기법을 접목함으로써 건설공사가 가지는 특성상 자연조건이 설계기능에 가져오는 영향을 체계적으로 검토하고, 현장조건을 설계시 반영할 수 있었다. 특히 흠막이 공법 설계기능의 반응치를 구하기 위해서 전문가의 의견을 수렴한 정성적 평가방법을 적용했고, 수집된 평가 데이터를 사용하여 SN값을 얻음으로써 설계대안검토시 유용하게 적용될 수 있다는 것을 보여줬다. 본 논문은 가시설 공법에 적용했으나 검증을 위해서 다양한 시공분야에 적용해야 한다. 또한 설계기능 구현과 아이디어 창출활동을 접목하여 여러 가지 설계대안을 검토함으로써 설계기능의 가치향상을 도모할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

이 과제는 부산대학교 생산기술연구소/한미글로벌 지원에 의하여 연구되었음.

## References

- Seo, K. K., and Ahn, B. J. (2004). "A methodology on measuring service quality of internet shopping mall using Taguchi method." *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 27(3), pp. 45-51.
- Lee, K. K. (2010). "Decision-making based on uncertain information in a beer distribution game using the Taguchi method." *Proceedings of Society of Korea Industrial and System Engineering*, pp. 17-19.
- Lee, W. S. (2003). *Introduction to Taguchi Quality Engineering for Practitioners*, Wooyong Publication, Seoul, Korea.
- Cho Y. W. and Park, M. K. (1998). "The parameter optimization decision of surface roughness using Taguchi method." *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 21(46), pp. 221-227.
- Huh, J. . Seo, J. H., and Park, M. K. (2004). "Multiple criteria decision making using Taguchi method." *Proceedings of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, pp. 1-7.
- Kwon, K. S., Lin, R. M. (2003). "Robust damage location in structures using Taguchi method." *Journal of Structural Engineering*, 131(4), pp. 629-642.
- Karna, S. K., Singh, R. V., and Sahai, R. (2012). "Application of Taguchi method in process optimization." *Proceedings of the National Conference on Trends and Advances in Mechanical Engineering*, YMCA University of Science & Technology, Faridabad, Haryana.
- Taguchi, G. (1986). *Introduction to quality engineering*, Asian Productivity Organization, Tokyo.

**요약 :** 가시설 공사는 자연환경에서 영구 구조물에 대한 시공을 수행하기 위해서 필요한 접근공간을 제공한다. 흠막이 공법과 같이 가시설 공사의 안정성을 높이기 위해서는 가시설에 작용하는 외부영향요인을 찾고, 이에 대응하기 위한 설계기능을 구현해야 한다. 즉 외부영향요인이 가시설 성능에 가져오는 영향을 최소화하기 위한 설계요소와 설계요소의 수준을 찾아야 한다. 본 연구에서는 가시설공사의 대표적인 공법인 흠막이 공법을 대상으로 가시설 설계시 고려해야 할 외부영향요인을 분석하고, 영향요소를 최소화하기 위한 내부영향요인으로써 설계기능의 개선방안을 제시한다. 설계기능 구현시에는 다구찌 기법을 적용하여 설계요소에 대한 체계적인 평가를 실시하여 가치향상을 분석했다. 적용사례에서는 외부영향요인의 영향을 가장 적게 받으면서 제품특성의 목표치에 가장 근접한 설계인자의 조건을 찾았다. 시범사례에서는 다구찌 기법을 적용하여 흠막이 설계기능을 구현함으로써 외부요인의 변화에 적절하게 대응할 수 있는 설계기능을 제공할 수 있다는 것을 보여줬다.

**키워드 :** 가시설 공사, 흠막이 공법 다구찌 기법, 외부영향요인, 내부영향요인