

## REFERENCES

- AbouRizk, S.M. and Halpin, D.W.. Statistical Properties of Construction Duration Data. ASCE Journal of Construction Engineering and Management 118, 3 (1992) : 525-44.
- Ahuja, H.N., and Nandakumar, V.. Simulation Model to Forecast Project Completion Time. ASCE Journal Construction Engineering and Management 111, 4 (1985) : 325-342.
- Al-Bahar, J.F., and Crandall, K.C.. Systematic Risk Management Approach for Construction Projects. ASCE Journal of Construction Engineering and Management 116, 3 (September 1990) : 533-546.
- Ayyub, B.M., and Haldar, A.. Project Scheduling Using Fuzzy Set Concepts. ASCE Journal Construction Engineering and Management 110, 2 (1984) : 189-204.
- Ayyub, B.M., and Haldar, A.. Decisions in Construction Operations. ASCE Journal of Construction Engineering and Management 111,4 (1985).
- Blair, A.N., Ayyub, B.M., Bender, W.J.. Fuzzy Stochastic Risk-Based Decision Analysis: MOB Case Study, Marine Structures 14 (2001): 69-88
- Bordoli, D.W. and Baldwin, A.N.. A Methodology for Assessing Construction Project Delays. Construction Management and Economics 16 (1998) : 327-337.
- Bubshait, A.A. and Cunningham, M.J.. A Methodology for Assessing Construction Project Delays. Construction Management and Economic 16 (1998) : 327-337.

- Büyüközkan, G. and Ruan, D..Evaluating government websites based on a fuzzy multiple decision-making approach. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems. 15, 3, (2007) :321-343.
- Carr, R.I.. Simulation Model to Forecast Project Completion Time. ASCE Journal Construction Engineering and Management 120 (1979) : 117-128.
- Chan, F.T.S. and Kumar, N..Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. Omega, 35 (2007): 417-431.
- Chanas and Kamburowski. The Use of Fuzzy Variables in PERT. Fuzzy Sets and System 5, 1(1981) : 11-19.
- Chang, D-Y..Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95 (1996): 649-655.
- Chapman C..Project Risk Analysis and Management – PRAM the Generic Process. International Journal Project Management. 15, 5 (1997): 273-281.
- Cho, H.N., Choi, H.H., and Kim, Y.B.. A Risk Assessment Methodology for Incorporating Uncertainties Using Fuzzy Concepts. Reliability Engineering & System Safety 78 (2002) : 173-183.
- Cor, H.. Using Simulation to Quantify the Impacts of Changes in Construction Work. Thesis of Master of Science in Civil Engineering. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 1998.
- Cushman, Robert F. and Carpenter, David A. Proving and Pricing Construction Claims. New York: John Wiley and Sons, 1990.
- Dohnal, M.. Fuzzy Simulation of Industrial Problems. Computers in Industry. 4 (1983) : 347-352.

- Fishwich, P.A.. Fuzzy Simulation: Specifying and Identifying Qualitative Models. International Journal of General Systems. 19 (1991) : 295-316.
- Duobis, D and Preade, H. An Approach to Computerized Processing of Uncertainty: Possibility Theory. Plenum. New York, 1998 : 62-63.
- Fente, J., Schexnayder, C. and Knutson, K.. Defining a Probability Distribution Function for Construction Simulation. ASCE Journal Construction Engineering and Management 126, 3 (2000) : 234-241.
- Flanagan, R. and Norman, G. Risk Management and Construction. Blackwell Science: Oxford, 1993.
- Halpin, D.W., and AboutRizk, S.M.. Statistical properties of construction duration data. ASCE Journal of Construction Engineering and Management 118, 3 (1992) : 525-544.
- Hegazy and Zhaug. A fuzzy System for Evaluating the Risk of Change in Construction Projects. Advances in Engineering Software 37, 9 (September 2006) : 583-591.
- Ioannou P.G. and Martinez, J.C. Comparison of Construction Alternatives Using Matched Simulation Experiments. New York, 1995.
- Kangari, R. and Riggs, L.S.. Construction Risk Assessment by Linguistics. IEEE Transaction Management 36, 2 (1989) : 126-131.
- Kilmer, Smith, and Shuman. Computing confidence intervals for stochastic simulation using neural network metamodels. Computers & Industrial Engineering (April 1997).
- Kim, Y. Organization Assessment for Korean Construction Productivity Improvement. Unpublished PhD Dissertation. The University of Texas, Austin, 1993.

- Klir, G.J., and Yuan, B. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications:  
Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ., 1995.
- Law, A.M., and Kelton, W.D. Simulation Modeling and Analysis. 2nd Ed.,  
McGraw – Hill, New York, 1991.
- Lootsma, F.A.. Stochastic and Fuzzy PERT. European Journal of Operational Research.  
43 (1989) : 174-183.
- Lorterapong, P. and Moselhi, O.. Project-Network Scheduling Using Fuzzy Set Theory.  
ASCE Journal of Construction Engineering and Management 122, 4 (1996).
- Martinez, J.C. STROBOSCOPE: State and Resource Based Simulation of  
Construction Processes. Ph.D. Dissertation. Civil and Environmental  
Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI, 1996.
- Marzouk and Moselhi. On the Use of Fuzzy Clustering in Construction Simulation.  
Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, 2001.
- McCahon, C.S.. Using PERT as an Approximation of Fuzzy Project-Network Analysis.  
IEEE Transaction On Energy Management 40, 2 (1993) : 146-153.
- Nasution, S.H.. Techniques and Applications of Fuzzy Theory to Critical Path Method.  
Fuzzy Theory Systems: Techniques and Application. 4 (1999) : 1561-1597.
- Negi, D.S. and Lee, E.S.. Analysis and Simulation of Fuzzy Queues.  
Fuzzy Sets and Systems. 46 (1992) : 321-330.
- Nido, A.A. and Abraham, D.M.. Microtunneling: Productivity Analysis Using  
Simulation. Construction Congress VI. (1996) : 76-86.
- Nasution, S.H.. Techniques and Applications of Fuzzy Theory to Critical Path Method.  
Fuzzy Theory Systems: Techniques and Application. 4 (1999) : 1561-1597.

- Negi, D.S. and Lee, E.S.. Analysis and Simulation of Fuzzy Queues. Fuzzy Sets and Systems. 46 (1992) : 321-330.
- Nido, A.A. and Abraham, D.M.. Microtunneling: Productivity Analysis Using Simulation. Construction Congress VI. (1996) : 76-86.
- Nkado, R.N... Construction Time Information System for the Building Industry. Construction Management and Economic. 10, 6 (1992) : 489-509
- Oliveros, A.V.O., and Fayek, A.R.. Fuzzy Logic Approach for Activity Delay Analysis and Schedule Updating. Journal of Construction Engineering and Management 131, 1 (2005) : 42-51.
- Bramble, B., Onofrio, M., and Stetson, J. Avoiding and Resolving Construction Claims. RS Means, Kingston, MA, (1990) : 13.
- Padilla, E.M., and Carr, R.I.. Resource Strategies for Dynamic Project Management. ASCE Journal Construction Engineering and Management 117 (2) (1991) : 279-293.
- Petrovic, D., Roy, R. and Petrovic, R.. Modeling and Simulation of a Supply Chain in an Uncertainty Environment. European Journal of Operational Research. 109 (1998) : 299-309.
- Pipattanapiwong, J. and Watanabe, T.. Multi-Party Risk Management Process (MRMP) for A Construction Project Financed by An International Lender. 16th Annual Conference of Association of Researchers in Construction Management (ARCOM) 1 : 219-228.
- Pipattanapiwong, J., Ogunlana, S. and Watanabe, T.. Multi-Party Risk Management Process for a Public Private Partnership in Construction Project in Asia. Public Private Partnership: Managing risks and opportunities 16 (2003) : 353-368.

- Pipattanapiwong, J. Development of Multi-party Risk and Uncertainty Management Process for An Infrastructure Project. Ph.D. Dissertation. Kochi University of Technology. Kochi. Japan, 2004.
- Pongmee, S. Ranking Risk Factors in Tunneling Projects by EPB Shield Method M.Eng. Thesis. Construction Engineering and Management, Bangkok, Thailand, 2006.
- Prade, H.. Using Fuzzy Set Theory in a Scheduling Problem: A Case Study. Fuzzy Sets and Systems 2, 2 (1979) : 153-165.
- Salicone, S. Measurement Uncertainty: An Approach via the Mathematical Theory of Evidence. Springer. New York.
- Sarutirattanaworakun, R. An Application of Simulation Models for Drainage Tunneling Project Planning. M.Eng. Thesis. Construction Engineering and Management, Bangkok, Thailand, 2005.
- Shi, J.J. et al.. Construction Delay Computation Method. ASCE Journal of Construction Engineering and Management 127, 1 (2001) : 60-65.
- Smith, M. Neural Networks for Statistical Modeling: Van Nostrand Reinhold, New York
- Southall, J.T. and Wyatt, M.D.. Investigation Using Simulation Models into Manufacturing/Distribution Chain Relationships. BPICS Control. 4-5 (1988) : 29-34.
- Thasnanipan, N. et al.. Diaphragm Wall and Barrette Construction for Thiam Ruam Mit Station Box, MRT Chaloem Ratchamongkhon Line, Bangkok. GeoEng2000 An International Conference on Geotechnical Engineering, 2000.

- Touran, A.. Probabilistic Cost Estimating with Subjective Correlations. ASCE Journal Construction Engineering and Management 119 (1) (1993) : 58-71.
- Touran, A., and Wisser, E.D.. Monte Carlo Technique with Correlated Random Variables. ASCE Journal Construction Engineering and Management 118 (2) (1992) : 258-272.
- Vuong, T. and Watanabe, T.. Development of Risk Analysis Models for Project Cost and Duration in Vietnamese Construction Projects. Proceedings of the Third International Conference on Construction Project Management (2001) : 337-347.
- Wang, L.X. A Course in Fuzzy Systems and Control. Upper Saddle River, New York : Prentice Hall, 1997.
- Wang, W.C., and Demsetz, L.A.. Model for Evaluating Networks under Correlated Uncertainty – NETCOR. Journal of Construction Engineering and Management 131, 1 (2005) : 42-51.
- Wang, W.C., and Demsetz, L.A.. Application Example for Evaluating Networks Considering Correlation. Journal of Construction Engineering and Management 126, 6 (2000) : 467-474.
- Wang, W.C., Liu, J.J., and Chou, S.C.. Simulation – based Safety Evaluation Model Integrated with Network Schedule. Automation in Construction 15 (2006) : 341-354.
- Woolery, J.C., and Crandall, K.C.. Stochastic Network Model for Planning Scheduling. ASCE Journal Construction Engineering and Management 109, 3 (1983) : 342-354.

- Wu, R.W.K., and Hadipriono, F.C.. Fuzzy Modus Ponens Deduction Technique for Construction Scheduling. ASCE Journal Construction Engineering and Management 120 (1994) : 162-179.
- Yu, W. and Liu, Y.. Hybridization of CBR and Numeric Soft Computing Techniques for Mining of Scarce Construction Databases. Automation in Construction 15 (2006) : 33-46.
- Zadeh, L.A.. Fuzzy set. Inf. Control 8 (1965) : 338-353.
- Zayed, T.M. and Halpin, D.W.. Simulation of Concrete Batching Plant Production. ASCE Journal of Construction Engineering and Management. 132, 2 (2001) : 132-138.
- Zhang, H., Tam, C.M., and Shi, J.. Application of Fuzzy Logic to Simulation for Construction Operations. ASCE Journal of Computing in Civil Engineering. 17, 1 (2003) : 38-45.
- Zhu, K-J, Jing, Y. and Chang, D-Y..A discussion on extent analysis method and applications of fuzzy AHP. European Journal of Operational Research. 116 (1999): 450-456.



## APPENDICES

**Appendix A**

**Adaptive Neurofuzzy Inference System: ANFIS**

## Adaptive Neurofuzzy Inference System: ANFIS

Neurofuzzy system is a branch of artificial intelligence (AI) techniques, which combines the merits of artificial neural networks (ANN) and fuzzy inference system (FIS). While applying the fuzzy inference systems to data mining, the fuzzy inference system need to be equipped with learning abilities. Many learning algorithms from the area of local modeling have been extended to automatically extract or tune fuzzy rules based on available data. To do so, a basic idea is to use the error back propagation algorithm to develop a fuzzy system because the error back propagation algorithm is the standard for most ANN implementation due to its high training performance. However, the process to develop a fuzzy system by the error back propagation algorithm is not straightforward. The transfer functions of the neurons have to be mathematically differentiated. However, the standard fuzzy inference system cannot be differentiated because it uses mathematical operations such as minimum and maximum. To solve these problems, firstly the neurofuzzy system uses extended fuzzy inference methods and a modified error back propagation algorithm with the fuzzy inference system. These methods exploit the fact that, at the computation level, a fuzzy system can be seen as a layered architecture, similar to an artificial neural network and the neurofuzzy system can be demonstrated by a special neural network architecture.

Three major schemes for developing a neurofuzzy system include: 1) Mandani fuzzy models using layered feed-forward architecture, FALCON proposed by Lin and Lee (1991), 2) ANFIS (Adaptive neurofuzzy inference system) proposed by Jang (1997), and 3) Back-propagation fuzzy system proposed by Wang and Mendel (1992).

Executing ANFIS by using TKS model which performs Sugeno fuzzy inference system operations, ANFIS becomes a universal approximator which can model any nonlinear function as does by ANNs and other forms of FISs. ANFIS provides FIS with fuzzy IF-THEN rules, with which it is more explicit than traditional ANNs in knowledge representation and inference result explanation. In addition, ANFIS does not require trials-and-errors for determining the network structure like the traditional TSK fuzzy system as the structure of ANFIS is fixed as the number of the input attributes and numbers of fuzzy partitions of input and output fuzzy variables are decided. Thus, structure and parameter identification of the fuzzy rule base are accomplished by defining, adapting, optimizing the topology and parameters

of the corresponding neurofuzzy networks based on the available data. As a consequence, ANFIS provides the network that can be considered as one of the adaptive fuzzy systems with the capability of learning fuzzy rules from data and one of the connectionist architectures provided with linguistic meaning.

Generally, the basic objective of an adaptive fuzzy control is to derive an accurate and interpretable fuzzy model from numerical data and maintain consistent performance of a fuzzy model in the presence of uncertainties or unknown variations in the structure and its parameters. In addition, the adaptive fuzzy control has merits of changing capability and adjusting capability during real-time operation. The ANFIS can adjust itself to the changing environment by additional components. Moreover, it requires less information about the system because of the adaptation law. As a consequence, it is able to learn the dynamics of a construction project during real-time operation. For this reason, the assessment of possibility and consequence of a risk event under uncertainty is appropriately performed by using ANFIS. However, the major drawback of ANFIS are the difficulties in interpreting the results because it is not only nonlinear but also time varying.

### **A.1 ANFIS Architecture**

In the TSK model, the idea is that each rule in a rule base defines a region for a model, which can be linear. The left hand side of each rule defines a fuzzy validity region for the linear model on the right hand side. Fuzzy rules are formulated from training data by ANFIS scheme consisting of three main phases (1) initialization of structure and parameters to derive a fuzzy model, (2) global tuning of all parameters to improve an accuracy of the derived fuzzy model, and (3) structure reduction and local tuning of parameters to improve interpretability of the resulting fuzzy model. The inference mechanism interpolates smoothly between local models to provide a global model.

As fuzzy inference operations fix the specifications of the fuzzy system, only the structure of rule base defined in terms of the number of rules and the premise and consequent parameters associated with rules can be changed through learning. Finding a proper configurations of membership functions and generating a set of fuzzy rules from a data set of input-output pairs are important to create the fuzzy system that closely approximates the unknown function  $g(x)$  of input-output data by

balancing between complexity (lack of interpretability) and accuracy of the rule base. As the development of a fuzzy system needs the learning process, the fuzzy system is implemented using a neural network. A set of fuzzy rules are encoded in the neurofuzzy network topology based on the training data.

Yu, et al.(2006) introduced a six-layer feedforward network structure with  $N$  neural processing units in layer  $L_0, L_1, L_2, L_3$ , and  $L_4$ , and 1 unit in  $L_5$ . Layer  $L_0$  contains  $n$  distribution units which is not considered a neural processing layer. Layer  $L_1$  is an input fuzzification stage. Layer  $L_2, L_3$ , and  $L_4$  evaluate a knowledge rule. The final output is computed in a final layer  $L_5$ . Neural units in  $L_1$  and  $L_4$  are adaptive; their parameters are learned during training. Neural units in  $L_2, L_3$  and  $L_5$  are fixed; their parameters are not modified during training.

The fuzzy system can interpolate between two linear functions in regions of overlap. If the firing strengths of the rules are  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r$  respectively, for particular values of the inputs  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , then the output is computed as a weighted average

$$y = \frac{\alpha_1 y_1 + \alpha_2 y_2 + \dots + \alpha_r y_r}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_r} = \bar{\alpha}_1 y_1 + \bar{\alpha}_2 y_2 + \dots + \bar{\alpha}_r y_r \quad (\text{A.1})$$

This study considers only a zero-order TSK rule structure. Therefore, layers in the typical ANFIS architecture shown in Figure B-1 are described for a zero-order TSK rule structure as follows:

- 1) Input values (crisp values) corresponding to input variables are sent into layer 0, called the input layer. Units in the input layer do not make any computation, but they just supply the input values to units in the next layer
- 2) Each neuron  $i$  in layer 1 call a membership layer, is adaptive with a parametric activation function. Its output is a grade of membership to which the given input satisfies the membership functions, e.g.,  $\mu_{A_1}(x_1)$  and  $\mu_{A_2}(x_2)$ . Each neuron receives a single system input and fuzzifies its value, that is, calculates its degree of membership to the linguistic term (fuzzy set) represented by the neural unit. Examples of membership functions are a triangular function and a generalized bell function as shown in Eq. (A.2-A.5) and Eq. (A.6).

For a triangular-shaped membership function,

$$f_A(x) = \frac{(x-a)}{(\alpha-a)}, a \leq x < \alpha \quad (\text{A.2})$$

$$f_A(x) = 1, x = \alpha \quad (\text{A.3})$$

$$f_A(x) = \frac{(x-b)}{(\alpha-b)}, \alpha \leq x < b \quad (\text{A.4})$$

$$f_A(x) = 0, \text{ otherwise} \quad (\text{A.5})$$

where  $x$  is a system input variable,  $a$  and  $b$  are the lower and upper bound values of  $x_{\mu=0}$ ;  $\alpha$  is value of the  $x_{\mu=1}$

For a bell-shaped membership function,

$$f_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (\text{A.6})$$

where  $\{a, b, c\}$  is the parameter set called premise parameters. As the values of the parameters change, the shape of the bell-shape function varies depending on the changed parameters. This membership layer makes the NFS different from the ANN as data for the NFS are processed before feeding into the learning process, but there is no preprocessing for the ANN or the ANN is directly trained by raw data

- 3) The layer 2 is called a rule layer as units in this layer perform precondition matching of fuzzy rules, i.e., they compute the activation level of each rule. The number of units in this layer is equal to the number of fuzzy rules. Every node in layer 2 is a fixed node. Each neural unit in layer 2 is connected to those nodes in layer 1 that form the antecedent of the corresponding rule, thus the inputs to the nodes in layer 2 are degree of membership. Output of layer 2 is the product of all incoming signals or degrees of membership. By multiplying all incoming values or applying other fuzzy AND operations, each node output represents the firing strength (rule activation strength or degree of fulfillment)  $\alpha_i$  of the  $i$ th rule by a product operation

$$\alpha_i = \prod_{i=1}^n \mu_{A_i}(x_i) \quad (\text{A.7})$$

where  $n$  is a number of input values

- 4) Each neural unit in layer 3 is connected to all units in layer 2. Every node in layer 3 is fixed node which calculates the ratio of the  $i$ th rule's firing strength relative to the sum of all rule's firing strengths,

$$\bar{\alpha}_i = \frac{\alpha_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_r}, i = 1, 2, \dots, r \quad (\text{A.8})$$

The result is a normalized firing strength,

- 5) The layer 4 is the defuzzification layer. Each neural unit in layer 4 is connected to one unit in layer 3 and to all the system inputs. Every node in layer 4 is an adaptive node with a node output. Each node calculates the consequent of the corresponding rule weighted by its normalized firing strength:

$$y_i = \bar{\alpha}_i \cdot c_{i0}, i = 1, 2, \dots, r \quad (\text{A.9})$$

where  $\bar{\alpha}_i$  is the normalized firing strength from layer 4 and  $c_{i0}$  is the fuzzy singleton that represents another set of free parameters denoted as a consequent parameter,

- 6) Every node in layer 5 is a fixed node which is connected to all units in layer 4. the node calculates the final output,  $y$ , of the fuzzy system by adding all the incoming weighted consequents. Thus,

$$y = \sum_{i=1}^r y_i \quad (\text{A.10})$$

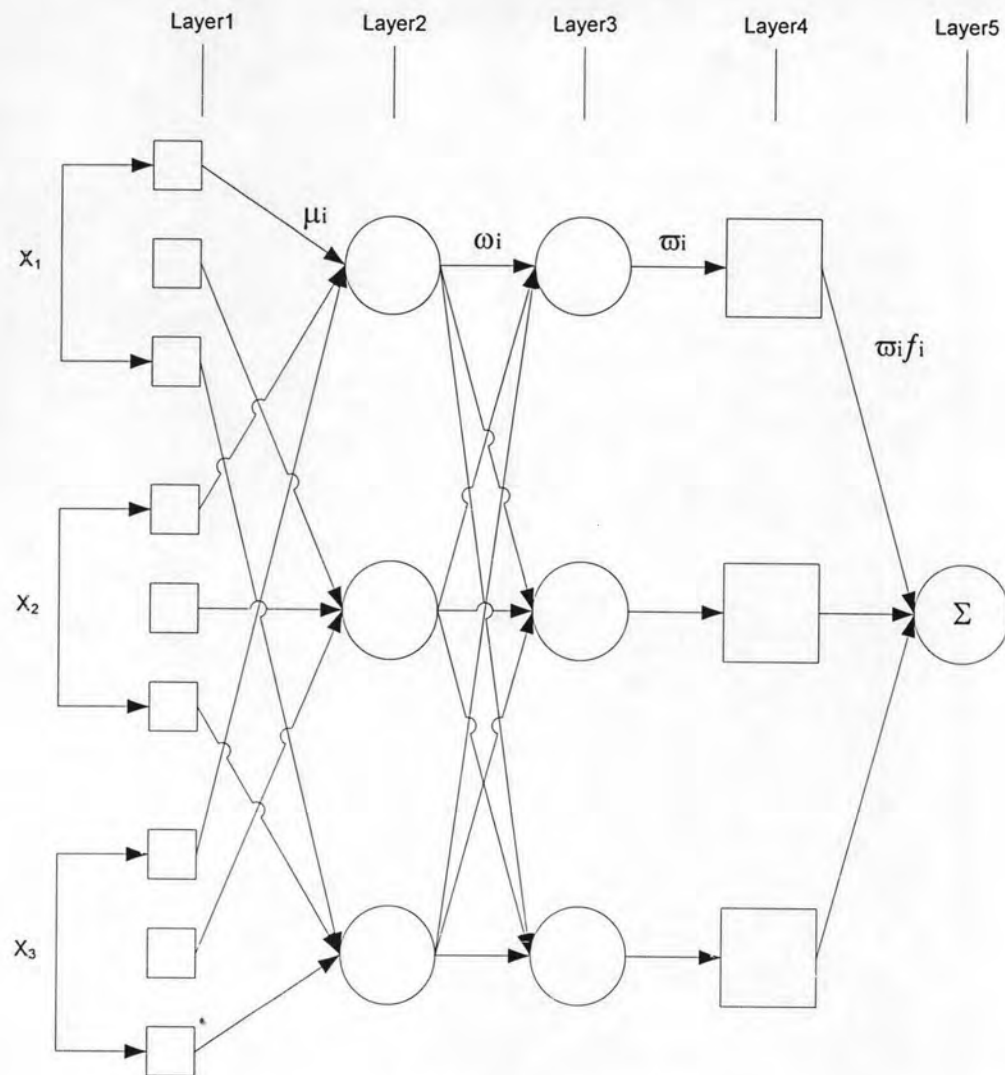


Figure A-1 Typical ANFIS architecture

## A.2 The ANFIS Learning Algorithm

Generally, the learning algorithm of the ANFIS scheme involves two main phases: 1) structure and parameter initialization and 2) global parameter tuning. The first learning phase establishes the initial structure and initial parameters of the network. For most existing neurofuzzy approaches, the proper number of fuzzy rules and membership functions (size of the network topology) are fixed. Only initial values of rule parameters (network weights) are determined. The aim of this first phase is to obtain a collection of fuzzy rules that is a first approximation of the fuzzy model. In the second learning phase, the parameters of the fuzzy rules are finely tuned via a supervisory design process with an effort to enhance the accuracy of the derived fuzzy model, i.e. to find the best fit to the data.



The supervisory design process for the NFS is performed following the steps explained in this section. The space of adjustable parameters of the network, denoted by  $W$ , includes the subspace of premise parameters  $W_p$  and the subspace of consequent parameters  $W_c$ , where  $W = W_p \cup W_c$ . Given a set of  $M$  input-output patterns,  $\{[y_1, x_{11}, x_{21}], \dots, [y_M, x_{1M}, x_{2M}]\}$ , and an initial multi-input-single-output TSK fuzzy system defined as in (Eq. 2.43-2.45) and specified by arbitrary sets of premise parameters,  $W_p = \{[a_1, b_1, c_1], \dots, [a_{5n}, b_{5n}, c_{5n}]\}$  corresponding to the membership functions, when the premise parameters are fixed, the overall output is a linear combination of the consequent parameters  $y_i = \bar{\alpha}_i(c_{r0} + c_{r1} \cdot x_1 + c_{r2} \cdot x_2 + \dots + c_{rm} \cdot x_n)$ , where  $n$  is the number of system inputs. For the  $W_p$ , the set of centers  $b_i$  and widths (i.e.,  $a_i, c_i$ ) of the membership functions describes the fuzzy sets in the premise part of rules. For the consequent part of the rules,  $W_c = (c_{r0}, c_{r1}, c_{r2}, \dots, c_{rm})$ , which is the set of fuzzy singletons in the consequent of the rules. For a zero-order TSK model, the output can be written as  $y_i = \bar{\alpha}_i \cdot c_{r0}$ , which is linear in the consequent parameter  $W_c = c_{r0}$ . The ANFIS method allows tuning the premise parameters  $\{a_i, b_i, c_i\}$  of the membership functions in the nodes of layer 1 in a backward pass and the coefficients in the knowledge rule consequents (the consequent parameters  $c_{r0}$ ) in the neural units of layer 4 in a forward pass (Jang, 1997). In the forward pass, the network inputs propagate forward until layer 5, where the consequent parameters are identified by the recursive least square method. In the backward pass, the error signals propagate backwards and the premise parameters are updated by the gradient descent method.

#### 1) Recursive least square method

The steps for designing a fuzzy system by the recursive least squares are:

- 1.1) Assume the  $U = [x_1, y_1] \times \dots \times [x_n, y_n] \subset R^n$ . For each data pair  $[x_i, y_i], (i = 1, 2, \dots, n)$ , define  $N_i$  fuzzy set  $A_i^l, l = 1, 2, \dots, N_i$ , which are complete in  $[x_i, y_i]$ . For example,  $A_i^l$  are considered as the triangular fuzzy sets:  $\mu_{A_i^l}(x_i) = \mu_{A_i^l}(x_i; a_i^l, b_i^l, c_i^l)$ .

- 1.2) Construct the fuzzy system from the following  $\prod_{i=1}^n N_i$  fuzzy IF-THEN rules:

$$\text{IF: } x_1 \text{ is } A_1^{l_1} \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_n^{l_n}, \text{ THEN: } y \text{ is } B^{l_1 \dots l_n} \quad (\text{A.11})$$

where  $l_i = 1, 2, \dots, N_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $n$  is the number of system inputs,

$N$  is the number of rules, and  $B^{l_1 \dots l_n}$  is any fuzzy set with center at

$y^{l_1 \dots l_n}$  which is free to change. For ANFIS, the designed fuzzy system is

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M y^l \omega^l}{\sum_{l=1}^M \omega^l} \quad (\text{A.12})$$

$$\omega^l = \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^{l_i}}(x_i) \quad (\text{A.13})$$

where  $y^l$  are free parameters to be designed, and  $A_i^{l_i}$  are designed in step 1.1). The free parameters  $y^l$  are collected into the

$\prod_{i=1}^n N_i$  - dimensional vector  $\theta =$

$$(y^{1 \dots 1}, \dots, y^{N_1 1 \dots 1}, y^{1 2 1 \dots 1}, \dots, y^{N_1 2 1 \dots 1}, \dots, y^{1 N_2 \dots N_n}, \dots, y^{N_1 N_2 \dots N_n})^T \quad (\text{A.14})$$

and Eq. (2.26) is rewritten as

$$f(x) = b^T(x)\theta \quad (\text{A.15})$$

where

$$b(x) = (b^{1 \dots 1}(x), \dots, b^{N_1 1 \dots 1}(x), b^{1 2 1 \dots 1}(x), \dots, b^{N_1 2 1 \dots 1}(x), \dots, b^{1 N_2 \dots N_n}(x), \dots, b^{N_1 N_2 \dots N_n}(x))^T, \\ b^{l_1 \dots l_n}(x) = \frac{\omega^l}{\sum_{l=1}^M \omega^l} \quad (\text{A.16})$$

- 1.3) Choose the initial parameters  $\theta(0)$  arbitrarily in the output space  $V \subset R$  (for example, choose  $\theta(0) = 0$  or the elements of  $\theta(0)$  uniformly distributed over  $V$ )
- 1.4) For input-output patterns,  $p = 1, 2, \dots, P$  compute the parameters  $\theta$  using the recursive least squares algorithm, where  $\theta(0)$  is chosen as in step 1.3, and  $P(0) = \sigma I$  where  $\sigma$  is a large constant. The designed

fuzzy system with the parameter  $y^i$  equal to the corresponding elements in  $\theta(p)$

2) Design of a fuzzy systems using a recursive least square method

The input-output patterns,  $p = 1, 2, \dots, P$  trained by the fuzzy systems designed by using the recursive least square method (LSE) can be written as:

$$y = \sum_{i=1}^N \bar{\alpha}_i \cdot c_{i0} = f(x) = b^T(x)\theta \quad (\text{A.17})$$

where  $N$  is the number of rules. Expanding and using vectors:

$$y = \begin{bmatrix} \bar{\alpha}_1 & \dots & \bar{\alpha}_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0^1 & \dots & c_n^N \end{bmatrix} \quad (\text{A.18})$$

Considering all  $M$  input-output training patterns together:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ y_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\alpha}_1 & \dots & \bar{\alpha}_N \\ \bar{\alpha}_1 & \dots & \bar{\alpha}_N \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{\alpha}_1 & \dots & \bar{\alpha}_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0^1 \\ \vdots \\ \vdots \\ c_0^N \end{bmatrix} \quad (\text{A.19})$$

Through appropriate definitions, (A.19) can be written as:

$$Y = XC \quad (\text{A.20})$$

where  $Y$  is  $M \times 1$ ,  $X$  is  $M \times (n+1) \times N$ , and  $C$  is  $(n+1)N \times 1$ . Usually the problem of computing the parameters  $C$  is over-determined; there is more patterns that parameters to calculate,  $M > (n+1)N$ . Thus, there is no exact solution. The LSE of  $C$  that minimizes the squared error  $\|XC - Y\|^2$  is obtained:

$$C_{lse} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (\text{A.21})$$

where  $C_{lse}$  are the parameters which are obtained by using the LSE procedure,  $(X^T X)^{-1}$  is the pseudo-inverse of  $X$  if  $X^T X$  is nonsingular. Consequently, the solution in Eq. (A.21) is computationally expensive due to the matrix inversion required, or impossible if  $X^T X$  is singular. To avoid these problems, a more efficient recursive procedure is used. Let  $\bar{x}_i^T$  be the  $i^{\text{th}}$  row

vector of matrix  $X$  and  $y_i$  be the  $i$ th element of vector  $Y$ . The least square estimate solution for  $C$  can therefore be computed recursively using the widely adopted method (Wang, 1997). Eq. (A.21) becomes Eq. (A.22)

$$C_{i+1} = C_i + \psi_{i+1} x_{i+1} [y_{i+1}^T - x_{i+1}^T C_i] \quad (\text{A.22})$$

$$\text{where } \psi_{i+1} = \psi_i - \frac{\psi_i x_{i+1} x_{i+1}^T \psi_i}{1 + x_{i+1}^T \psi_i x_{i+1}}$$

For  $i = 0, 1, 2, \dots, M-1$ , then  $C_{lsc} = C_M$ , where  $\psi$  is called the covariance matrix. The initial conditions are  $C_0 = 0$  and  $\psi_0 = \gamma I$ , where  $I$  is a size  $(n+1)N$  identified matrix and  $\gamma$  is a large positive number.

### 3) Gradient descent training method

The steps for designing the fuzzy system by the gradient descent training method are:

3.1) Determine the structure and choose initial parameters  $y'(0), \omega'(0)$  in a way that the corresponding membership function uniformly cover the input and output spaces

3.2) Present input-output pair  $(x_d^p, y_d^p)$ ,  $p = 1, 2, \dots, P$  and at the  $q^{\text{th}}$  stage of training,  $q = 1, 2, \dots$  and calculate the output  $y'$  of the fuzzy system

3.3) Update the parameters by using the training algorithm,

$$\Delta^L w_{ji} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ji}} = -\eta \frac{\partial E}{\partial^L y_i} \frac{\partial^L y_i}{\partial^L f_i} \frac{\partial^L f_i}{\partial^L w_{ji}}, \text{ to compute the updated}$$

consequent parameters  $y'(q+1)$ , antecedent parameters  $w'(q+1)$ ,

where  $E$  is an error,  $\eta$  is an arbitrary learning rate factor,  $y = y_0^p$ , and

$y'(p), w'(p)$  equal those computed in step 3.2

3.4) Repeat step 3.2 with  $q = q+1$  until the error  $\Delta^L w_{ji}$  is less than a pre-specified number  $\varepsilon$

3.5) Repeat the procedure from step 3.2 by going to step 3.2 with  $p = p+1$ ; that is, update the parameters using the next input-output pair  $(x_d^{p+1}, y_d^{p+1})$ ,

4) Design of the fuzzy systems using the gradient descent training

The changes to the antecedent parameters are determined by backpropagation. Let  $z$  be any of the  $a, b$ , or  $c$  parameters of any membership function  $\mu$ , and  $E$  be the usual error measure given by the sum of squared difference between the target output,  $y^*$ , and actual output,  $y$ . The change in  $z$  and  $\Delta z$ , for a single rule after a pattern has been propagated is given by:

$$\Delta z = -\sigma \frac{\partial E}{\partial z} \quad (\text{A.23})$$

where  $\sigma$  is an arbitrary learning rate factor. Successive application of the chain rule in Eq.(A.24) yields:

$$\begin{aligned} \Delta z &= -\sigma \frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \bar{\tau}_r} \frac{\partial \bar{\tau}_r}{\partial \tau_r} \frac{\partial \tau_r}{\partial \mu} \frac{\partial \mu}{\partial z} \\ &= \sigma (y^* - y) y_r \frac{\bar{\tau}_r (1 - \bar{\tau}_r) \tau_r}{\tau_r} \frac{\partial \mu}{\mu \partial z} \\ &= \frac{\sigma}{\mu} y_r (y^* - y) \bar{\tau}_r (1 - \bar{\tau}_r) \frac{\partial \mu}{\partial z} \end{aligned} \quad (\text{A.24})$$

where the last factor depends on the membership function parameter being considered:

For bell shaped membership function

$$\frac{\partial \mu}{\partial a} = \frac{\mu(x_i)^2}{a} \left( \frac{(x_i - c)^2}{a} \right)^b \quad (\text{A.25})$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial b} = -b \mu(x_i)^2 \left( \frac{(x_i - c)^2}{a} \right)^{(b-1)} \quad (\text{A.26})$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial c} = \frac{2b \mu(x_i)^2}{x_i - c} \left( \frac{(x_i - c)^2}{a} \right)^b \quad (\text{A.27})$$

The learning process is carried out iteratively, with two phases per iteration. Firstly, the input patterns are propagated keeping the antecedent parameters constant, then the optimal consequent parameters are estimated using the least square estimation procedure (Eq. (A.21) to (A.23)). Therefore, it sets a bound for the number

of rules. Secondly, the input patterns are propagated again while keeping the consequent parameters constant, then the antecedent parameters are modified by backpropagation using Eq.(A.23) and Eq.(A.27). As a result, the number of rules is fixed before training.

**Appendix B**  
**Questionnaire**

**แบบสอบถามเรื่อง:** การประเมินปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก

**คำชี้แจง:** แบบสอบถามชุดนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบการทำวิจัย เรื่อง “การประเมินความเสี่ยงสำหรับการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก” ของสาขาวิศวกรรมก่อสร้างและการบริหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำการสำรวจความคิดเห็นทางด้าน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเวลาในการทำงานในการนี้ มีความจำเป็นที่จะต้องขอทราบข้อมูลบางประการจากหน่วยงานของท่าน และขอความกรุณาท่านผู้รับผิดชอบในการกรอกแบบสอบถาม โปรดให้ข้อมูลที่ครบถ้วน และตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด เพื่อความถูกต้องและสมบูรณ์ของผลการวิจัย คำตอบของท่านจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการประเมินความเสี่ยงสำหรับการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก เพื่อใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการความเสี่ยงในระหว่างขั้นตอนการก่อสร้าง อันจะเป็นการยกระดับมาตรฐานงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียกต่อไป แบบสอบถามชุดนี้ ผู้วิจัยเพียงมุ่งหวังที่จะทราบข้อมูล เพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้เท่านั้น มิได้มีจุดประสงค์อื่นใดเคลือบแฝงอยู่ จึงใคร่ขอความกรุณาท่าน ได้โปรดสละเวลาตอบแบบสอบถามที่แนบมานี้ หากท่านมีข้อสงสัยหรือไม่เข้าใจในการตอบแบบสอบถามประการใด กรุณาติดต่อผู้จัดทำตามเบอร์โทรข้างล่างนี้ ซึ่งหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านเป็นอย่างดี

เทอดธิดา ทิพย์รัตน์

นิสิตสาขาบริหารการก่อสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Email: Theodtida@gmail.com

แบบสอบถามชุดนี้ มีทั้งหมด 4 ตอน จำนวน 10 หน้า ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

ตอนที่ 2 การประเมินเปรียบเทียบระดับการส่งผลกระทบของปัจจัยเสี่ยง

ตอนที่ 3 การประเมินเชิงคุณภาพของค่าความเสี่ยงสำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก

ตอนที่ 4 การประเมินเชิงปริมาณของค่าความเสี่ยงสำหรับกลุ่มปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก

**ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม**

คำชี้แจง : โปรดกรอกข้อความในช่องว่างที่เหมาะสมตามความเป็นจริง หรือทำเครื่องหมาย  $\surd$  ลงในช่อง [ ] หน้าข้อความ

1. ข้อมูลส่วนบุคคล

1.1 เพศ [ ] ชาย [ ] หญิง อายุ ..... ปี

1.2 ท่านปฏิบัติงานในตำแหน่ง.....



### 1.3 งานที่ท่านควบคุมดูแล

ผู้ควบคุมโครงการ                       วิศวกร                       โพรแมน

### 1.4 ประสบการณ์ในงานก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีผสมคูลแรงดันดินของท่าน

ต่ำกว่า 1 ปี     1 – 3 ปี                       3 – 5 ปี     5 – 10 ปี

มากกว่า 10 ปี

## ตอนที่ 2 การประเมินเปรียบเทียบระดับการส่งผลกระทบของปัจจัยเสี่ยง

ในส่วนนี้จะเป็นการประเมิน เพื่อเปรียบเทียบระดับการส่งผลกระทบของปัจจัยเสี่ยง โดยให้ท่านได้กรอกตัวเลขที่แทนระดับคะแนนเพื่อเปรียบเทียบ ในแง่ของปัจจัยที่ส่งผลกระทบหรือมีอิทธิพลต่อเวลาในการทำงานเสาเข็มเจาะแบบเปียก

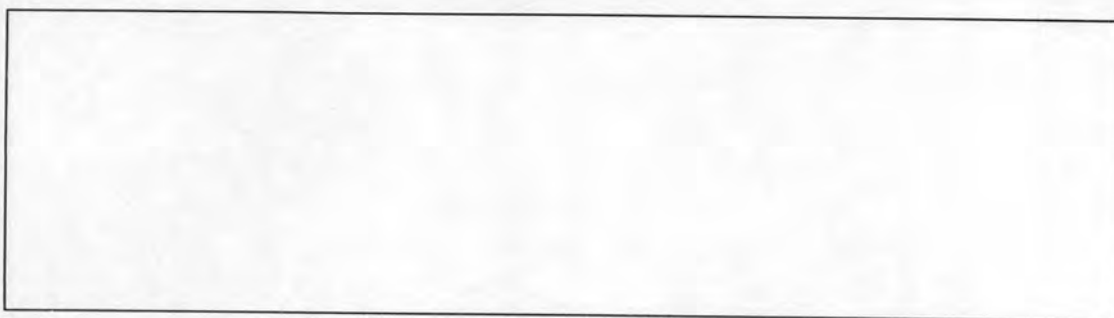
คำชี้แจง: ให้ท่านกรอกตัวเลขระดับคะแนนในแง่ของการส่งผลกระทบต่อเวลาในการทำงานเสาเข็มเจาะ โดยวินิจฉัยจากประสบการณ์ของท่านระหว่างปฏิบัติหน้าที่อยู่ในโครงการปัจจุบัน ตามที่ได้อธิบายวิธีการข้างต้น ในตารางดังต่อไปนี้

วิธีทำ: ประเมินโดยวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยเป็นคู่ๆ (ปัจจัยเนวนอนเปรียบเทียบกับปัจจัยในแนวตั้ง) ว่าปัจจัยด้านใดมีอิทธิพลหรือส่งผลมากกว่ากัน และมากกว่ากันในระดับเท่าใด ซึ่งตัวเลขที่แทนระดับคะแนนดังกล่าว มีความหมายดังนี้

ระดับคะแนน ความหมาย

- 1 ส่งผลหรือมีอิทธิพลเท่ากัน
- 2 ส่งผลหรือมีอิทธิพลเหนือกว่าปานกลาง
- 3 ส่งผลหรือมีอิทธิพลเหนือกว่าค่อนข้างมาก
- 4 ส่งผลหรือมีอิทธิพลเหนือกว่ามากอย่างชัดเจน
- 5 ส่งผลหรือมีอิทธิพลเหนือกว่าสูงสุด

ในการประเมินเชิงคุณภาพนั้น ผู้ประเมินแต่ละท่านสามารถกำหนดค่าให้กับระดับคะแนนที่แสดงข้างต้นแตกต่างกัน ในการวิจัยนี้ทำการพิจารณาความแตกต่างของค่าคะแนนดังกล่าวโดยกำหนดให้ผู้ประเมินให้ค่ากับระดับคะแนนทั้ง 5 ระดับโดยอาศัยตารางข้างล่างนี้



คำอธิบาย: จากตารางตัวอย่างข้างต้น ได้สมมติการกำหนดค่าให้กับระดับคะแนนทั้ง 5 ระดับ

0-20 หมายถึงส่งผลหรือมีอิทธิพลเท่ากัน

20-40 หมายถึงส่งผลหรือมีอิทธิพลเหนือกว่าปานกลาง

40-60 หมายถึงส่งผลหรือมีอิทธิพลเหนือกว่าค่อนข้างมาก

60-80 หมายถึงส่งผลหรือมีอิทธิพลเหนือกว่ามากอย่างชัดเจน

80-100 หมายถึงส่งผลหรือมีอิทธิพลเหนือกว่าสูงสุด

ในการประเมินจะยึดปัจจัยที่อยู่ในแนวนอนเป็นหลัก โดยถ้าเปรียบเทียบได้ว่าปัจจัยในแนวนอนส่งผลหรือมีอิทธิพลมากกว่า ปัจจัยในแนวตั้ง ให้ใส่เครื่องหมายบวกแล้วตามด้วยตัวเลขระดับคะแนน ในทางกลับกัน ถ้าเปรียบเทียบได้ว่าปัจจัยในแนวนอนส่งผลหรือมีอิทธิพลน้อยกว่า ปัจจัยในแนวตั้ง ให้ใส่เครื่องหมายลบ แล้วตามด้วยตัวเลขระดับคะแนน แต่ถ้าส่งผลในระดับเท่ากัน ให้ใส่ เฉพาะตัวเลข "1" เพียงเท่านั้น ดังตัวอย่าง

ตัวอย่าง:

ปัจจัย		1	2	3
		a	b	c
1	a	1	1	+2
2	b	-2	1	-3
3	c	-2	3	1

คำอธิบาย: จากตารางตัวอย่างข้างต้น ได้สมมติการกรอกตัวเลขระดับคะแนน โดยนำ 3 ปัจจัยมาเปรียบเทียบกัน

- ปัจจัย a (แนวนอน) เมื่อเทียบกับ ปัจจัย c (แนวตั้ง) มีระดับคะแนนเท่ากับ +2 หมายถึง ปัจจัย a ส่งผลหรือมีอิทธิพลเหนือกว่า ปัจจัย c ในระดับปานกลาง ในแง่ของการส่งผลต่อเวลาในการทำงานเสาเข็มเจาะ

- ปัจจัย b และ ปัจจัย c (แนวนอน) เมื่อเทียบกับ ปัจจัย a (แนวตั้ง) มีระดับคะแนนเท่ากับ -2 หมายถึง ปัจจัย b และ ปัจจัย c ส่งผลหรือมีอิทธิพลต่ำกว่า ปัจจัย a ในระดับปานกลาง ในแง่ของการส่งผลต่อเวลาในการทำงานเสาเข็มเจาะ
- ปัจจัย b (แนวนอน) เมื่อเทียบกับ ปัจจัย c (แนวตั้ง) มีระดับคะแนนเท่ากับ -3 หมายถึง ปัจจัย b ส่งผลหรือมีอิทธิพลต่ำกว่า ปัจจัย c ในระดับมาก ในแง่ของการส่งผลต่อเวลาในการทำงานเสาเข็มเจาะ
- ปัจจัย c (แนวนอน) เมื่อเทียบกับ ปัจจัย b (แนวตั้ง) มีระดับคะแนนเท่ากับ +3 หมายถึง ปัจจัย c ส่งผลหรือมีอิทธิพลเหนือกว่า ปัจจัย b ในระดับมาก ในแง่ของการส่งผลต่อเวลาในการทำงานเสาเข็มเจาะ

ตาราง การเปรียบเทียบการส่งผลหรือมีอิทธิพลของปัจจัยเสี่ยงต่อกิจกรรมการเจาะ

ปัจจัยเสี่ยง		1	2	3	4	5
		จัดส่งเครื่องจักรมาที่หน่วยงานล่าช้า	ระดับความดันน้ำสูง	เครื่องจักรเสียหรือชำรุด	ฝนตกหนัก	ความไม่แน่นอนของชั้นดิน
1	จัดส่งเครื่องจักรมาที่หน่วยงานล่าช้า					
2	ระดับความดันน้ำสูง					
3	เครื่องจักรเสียหรือชำรุด					
4	ฝนตกหนัก					
5	ความไม่แน่นอนของชั้นดิน					

### ตอนที่ 3 การประเมินเชิงคุณภาพของค่าความเสี่ยงสำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก

คำชี้แจง: ในส่วนนี้จะเป็นการประเมินความเสี่ยงสำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก โดยให้ท่านได้กรอกตัวเลขที่แทนระดับความเสี่ยง ลงในช่องสี่เหลี่ยมที่เตรียมไว้ให้สำหรับแต่ละปัจจัย ตามที่ท่านได้ประสมาระหว่างปฏิบัติหน้าที่อยู่ในโครงการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ ซึ่งการประเมินจะแบ่งออกเป็น 2 มิติ ดังนี้

1. มิติด้านโอกาสของการเกิด; ประเมินโดยเทียบกับความถี่ในการเกิดปัจจัยเสี่ยงทั้งหมดที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้าง
2. มิติด้านผลกระทบจากการเกิด; ประเมินโดยเทียบกับผลกระทบด้านเวลาในการก่อสร้างจากการเกิดปัจจัยเสี่ยงทั้งหมดที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้าง

ข้อควรระวัง: ในกรณีปัจจัยที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น พบว่าโอกาสของการเกิด แทนไม่เคยเกิดขึ้นเลย จึงสรุปว่าไม่มีผลต่อเวลาในการก่อสร้างซึ่งอันที่จริงไม่ใช่จุดมุ่งหมายสำหรับแบบสอบถามชุดนี้ เพราะแบบสอบถามชุดนี้ต้องการจะทราบถึงผลกระทบต่อเวลาในการก่อสร้าง โดยไม่คำนึงว่าโอกาสการเกิดจะมากหรือน้อยเพียงใดก็ตาม

วิธีทำ: ประเมินโดยวิธีจัดอันดับเปรียบเทียบปัจจัยแต่ละปัจจัยกับปัจจัยทั้งหมดว่าปัจจัยแต่ละปัจจัยมีค่าความถี่ เป็นสัดส่วนเท่าไรของค่าความถี่ ของปัจจัยทั้งหมด และประเมินโดยวิธีจัดอันดับเปรียบเทียบปัจจัยแต่ละปัจจัยกับปัจจัยทั้งหมดว่าปัจจัยแต่ละปัจจัยมีการมีอิทธิพลหรือการส่งผลเป็นสัดส่วนเท่าไรของค่าการมีอิทธิพลหรือการส่งผลของปัจจัยทั้งหมด

ซึ่งตัวเลขที่แทนระดับคะแนนดังกล่าว มีความหมายดังนี้

ระดับคะแนนสำหรับโอกาสเกิด ความหมาย

- 1 สัดส่วนของโอกาสเกิดของปัจจัยที่กำลังพิจารณาต่อโอกาสเกิดของปัจจัยทั้งหมดมีค่าต่ำมาก
- 2 สัดส่วนของโอกาสเกิดของปัจจัยที่กำลังพิจารณาต่อโอกาสเกิดของปัจจัยทั้งหมดมีค่าต่ำ
- 3 สัดส่วนของโอกาสเกิดของปัจจัยที่กำลังพิจารณาต่อโอกาสเกิดของปัจจัยทั้งหมดมีค่าปานกลาง
- 4 สัดส่วนของโอกาสเกิดของปัจจัยที่กำลังพิจารณาต่อโอกาสเกิดของปัจจัยทั้งหมดมีค่าสูง
- 5 สัดส่วนของโอกาสเกิดของปัจจัยที่กำลังพิจารณาต่อโอกาสเกิดของปัจจัยทั้งหมดมีค่าสูงมาก

ระดับคะแนนสำหรับผลกระทบจากการเกิด ความหมาย

- 1 สัดส่วนของผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยที่กำลังพิจารณาต่อผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยทั้งหมดมีค่าต่ำมาก
- 2 สัดส่วนของผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยที่กำลังพิจารณาต่อผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยทั้งหมดมีค่าต่ำ
- 3 สัดส่วนของผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยที่กำลังพิจารณาต่อผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยทั้งหมดมีค่าปานกลาง
- 4 สัดส่วนของผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยที่กำลังพิจารณาต่อผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยทั้งหมดมีค่าสูง
- 5 สัดส่วนของผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยที่กำลังพิจารณาต่อผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยทั้งหมดมีค่าสูงมาก



คำอธิบาย: จากตารางตัวอย่างข้างต้น ได้สมมติการกำหนดค่าให้กับระดับคะแนนของค่าสัดส่วนของผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยทั้ง 5 ระดับ

0-10 สัดส่วนของผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยที่กำลังพิจารณาต่อผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยทั้งหมดมีค่าต่ำมาก

10-40 สัดส่วนของผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยที่กำลังพิจารณาต่อผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยทั้งหมดมีค่าต่ำ

40-70 สัดส่วนของผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยที่กำลังพิจารณาต่อผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยทั้งหมดมีค่าปานกลาง

70-90 สัดส่วนของผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยที่กำลังพิจารณาต่อผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยทั้งหมดมีค่าสูง

90-100 สัดส่วนของผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยที่กำลังพิจารณาต่อผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยทั้งหมดมีค่าสูงมาก

ตัวอย่าง : แสดงการกรอกตัวเลขที่แทนระดับความเสี่ยง ทั้ง 2 มิติด้าน

ปัจจัยเสี่ยง		1	2
		โอกาสของการเกิด	ผลกระทบจากการเกิด
1	a	4	4
2	b	2	3

คำอธิบาย: จากตารางตัวอย่างข้างต้น ได้สมมติการกรอกตัวเลขที่แทนระดับความเสี่ยงทั้ง 2 มิติด้าน โดยได้ยกตัวอย่าง การประเมินปัจจัย a และปัจจัย b โดยในปัจจัย a ได้สมมติการกรอกตัวเลขไว้ดังนี้

- มิติด้านโอกาสของการเกิดของปัจจัย a อยู่ในระดับที่ 4 หมายถึง สัดส่วนของโอกาสเกิดของปัจจัย a ต่อโอกาสเกิดของปัจจัยทั้งหมดมีค่าสูง
- มิติด้านผลกระทบจากการเกิดของปัจจัย a อยู่ในระดับที่ 4 หมายถึง ระดับผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัย a ต่อผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยทั้งหมดมีค่าสูง
- มิติด้านโอกาสของการเกิดของปัจจัย b อยู่ในระดับที่ 2 หมายถึง สัดส่วนของโอกาสเกิดของปัจจัย b ต่อโอกาสเกิดของปัจจัยทั้งหมดมีค่าต่ำ
- มิติด้านผลกระทบจากการเกิดของปัจจัย b อยู่ในระดับที่ 3 หมายถึง ระดับผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัย b ต่อผลกระทบหรืออิทธิพลของปัจจัยทั้งหมดมีค่าปานกลาง

ตาราง การเปรียบเทียบโอกาสของการเกิดและผลกระทบจากการเกิดของปัจจัยเสี่ยงที่กำลังพิจารณาต่อ โอกาสของการเกิดและผลกระทบจากการเกิดของปัจจัยเสี่ยงทั้งหมดในกิจกรรมการเจาะ

ปัจจัยเสี่ยง		1	2
		โอกาสของการเกิด	ผลกระทบจากการเกิด
1	จัดส่งเครื่องจักรมาที่หน่วยงานล่าช้า		
2	ระดับความดันน้ำสูง		
3	เครื่องจักรเสียหรือชำรุด		
4	ฝนตกหนัก		
5	ความไม่แน่นอนของชั้นดิน		

#### ตอนที่ 4 การประเมินเชิงปริมาณของค่าความเสี่ยงสำหรับกลุ่มปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก

คำชี้แจง: ในส่วนนี้จะเป็นการประเมินความเสี่ยงจากข้อมูลเชิงปริมาณสำหรับกลุ่มปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียก โดยให้ท่านได้กรอกข้อมูลจริง ลงในช่องสี่เหลี่ยมที่เตรียมไว้สำหรับแต่ละโครงการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ ซึ่งการประเมินจะแบ่งออกเป็น 2 มิติด้าน ดังนี้

1. มิติด้านโอกาสของการเกิด; ประเมินจากค่าความถี่ในการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้าง
2. มิติด้านผลกระทบจากการเกิด; ประเมินจากค่าผลกระทบด้านเวลาในกรก่อสร้างจากการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้าง

วิธีทำ:

- 1) ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณในการคำนวณค่าโอกาสของการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยง โดยข้อมูลประกอบด้วย
  - a. จำนวนครั้งที่ระยะเวลาในการทำงานต่อหน่วยของผลงานมากกว่าระยะเวลาที่ประมาณไว้  
.....ครั้ง
  - b. จำนวนหน่วยการผลิตทั้งหมด.....หน่วย
- 2) ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณในการคำนวณค่าผลกระทบจากการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยง โดยข้อมูลประกอบด้วย
  - a. ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจากระยะเวลาที่ประมาณไว้สำหรับการทำงานต่อหน่วยของผลงาน  
.....วัน
  - b. ระยะเวลาที่ประมาณไว้สำหรับการทำงานต่อหน่วยของผลงาน.....วัน

หากไม่มีข้อมูลเชิงปริมาณที่แสดงข้างต้น ให้ทำการประเมินความเสี่ยงสำหรับกลุ่มปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียกจากข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยใช้ตัวเลขที่แทนระดับคะแนนความเสี่ยงดังกล่าว ซึ่งตัวเลขมีความหมายดังนี้

ระดับคะแนนสำหรับโอกาสเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยง ความหมาย

- 1 ความถี่ในการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าต่ำมาก
- 2 ความถี่ในการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าต่ำ
- 3 ความถี่ในการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าปานกลาง
- 4 ความถี่ในการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าสูง
- 5 ความถี่ในการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าสูงมาก

ระดับคะแนนสำหรับผลกระทบจากการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยง ความหมาย

- 1 ค่าผลกระทบด้านเวลาในการก่อสร้างจากการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าต่ำมาก
- 2 ค่าผลกระทบด้านเวลาในการก่อสร้างจากการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าต่ำ
- 3 ค่าผลกระทบด้านเวลาในการก่อสร้างจากการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าปานกลาง
- 4 ค่าผลกระทบด้านเวลาในการก่อสร้างจากการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าสูง
- 5 ค่าผลกระทบด้านเวลาในการก่อสร้างจากการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าสูงมาก

ในการประเมินเชิงคุณภาพนั้น ผู้ประเมินแต่ละท่านสามารถกำหนดค่าให้กับระดับคะแนนที่แสดงข้างต้นแตกต่างกัน ในการวิจัยนี้ทำการพิจารณาความแตกต่างของค่าคะแนนดังกล่าว โดยกำหนดให้ผู้ประเมินให้ค่ากับระดับคะแนนสำหรับโอกาสเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงทั้ง 5 ระดับ โดยอาศัยตารางข้างล่างนี้



ตาราง การกำหนดค่าให้กับคะแนนสำหรับประเมินค่าสัดส่วนของโอกาสเกิดของกลุ่มปัจจัย											
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1		x	x	x							
2					x						
3						x	x	x			
4									x	x	
5											x

คำอธิบาย : จากตารางตัวอย่างข้างต้น ได้สมมติการกำหนดค่าให้กับระดับคะแนนทั้ง 5 ระดับ

0-30 ความถี่ในการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าต่ำมาก

30-40 ความถี่ในการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าต่ำ

40-70 ความถี่ในการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าปานกลาง

70-90 ความถี่ในการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าสูง

90-100 ความถี่ในการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าสูงมาก

ค่าของระดับคะแนนสำหรับผลกระทบจากการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงทั้ง 5 ระดับได้กำหนดโดยอาศัยตารางข้างล่างนี้

ตาราง การกำหนดค่าให้กับคะแนนสำหรับประเมินค่าสัดส่วนของผลกระทบหรืออิทธิพลของกลุ่มปัจจัย											
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1		x	x								
2				x	x	x					
3							x	x			
4									x	x	
5											x

คำอธิบาย : จากตารางตัวอย่างข้างต้น ได้สมมติการกำหนดค่าให้กับระดับคะแนนทั้ง 5 ระดับ

0-20 ค่าผลกระทบด้านเวลาในการก่อสร้างจากการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าต่ำมาก

20-50 ค่าผลกระทบด้านเวลาในการก่อสร้างจากการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าต่ำ

50-70 ค่าผลกระทบด้านเวลาในการก่อสร้างจากการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าปานกลาง

70-90 ค่าผลกระทบด้านเวลาในการก่อสร้างจากการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าสูง

90-100 ค่าผลกระทบด้านเวลาในการก่อสร้างจากการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่พิจารณาในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าสูงมาก

ตัวอย่าง: แสดงการกรอกตัวเลขที่แทนระดับความเสี่ยง ทั้ง 2 มิติด้าน

กลุ่มปัจจัยเสี่ยง		1	2
		โอกาสของการเกิด	ผลกระทบจากการเกิด
1	A	4	4

คำอธิบาย: จากตารางตัวอย่างข้างต้น ได้สมมติการกรอกตัวเลขที่แทนระดับความเสี่ยง ทั้ง 2 มิติด้าน โดยได้ยกตัวอย่าง การประเมินกลุ่มปัจจัย A โดยในกลุ่มปัจจัย A ได้สมมติการกรอกตัวเลขไว้ดังนี้

- มิติด้านโอกาสของการเกิดของกลุ่มปัจจัย A อยู่ในระดับที่ 4 หมายถึง ความถี่ในการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยง A ในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าสูง
- มิติด้านผลกระทบจากการเกิดของปัจจัย A อยู่ในระดับที่ 4 หมายถึง ค่าผลกระทบด้านเวลาในการก่อสร้างจากการเกิดกลุ่มปัจจัยเสี่ยง A ในระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีค่าสูง

ตาราง การประเมินโอกาสของการเกิดและผลกระทบจากการเกิดของกลุ่มปัจจัยเสี่ยงที่กำลังพิจารณาในกิจกรรมการเจาะ

กลุ่มปัจจัยเสี่ยง		1	2
		โอกาสของการเกิด	ผลกระทบจากการเกิด
1	A (a,b,c,d,e)		

## VITA

Toedtida Thipparat was born on June 28, 1978 in Nakornshithummarat, Thailand. She graduated from Benjamarashutit School in Nakornshithummarat province. After finished high school, she continued her Bachelor's degree, Master's degree, and Doctoral's degree in Civil Engineering at Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in 1999, 2001, and 2007, respectively. Nowadays she lives in Bangkok, Thailand.

