

염해 환경에 노출된 RC 구조물의 내구성능설계를 위한 퍼지 추론 기반 환경영향지수의 산정

Fuzzy Inference-based Quantitative Estimation of Environmental Affecting Factor For Performance-based Durability Design of RC Structure Exposed to Salt Attack Environment

도 정 윤* 송 훈** 소 승 영*** 소 양 섭***
Do, Jeong Yun Song, Hun So, Seung Young Soh, Yang Seob

ABSTRACT

As a part of the effort for improving the durability design based on a set of the deem-to-satisfy specifications, it is important and primary to quantitatively identify the environmental impact to a target reinforced concrete structure. In this work, an effort is made to quantitatively calculate the environmental affecting factor with using a fuzzy inference that it indicates the severity of environmental impact to the exposed reinforced concrete structure or member. This system is composed of input region, output region and rule base. For developing the fuzzy inference system surface chloride concentration(chloride), cyclic degree of wet and dry(CWD), relative humidity(RH) and temperature(TEMP) were selected as the input parameter to environmental affecting factor(EAF) of output parameter. The Rules in inference engine are generated from the engineering knowledge and intuition based on some international code of practises as well as various researcher's experimental data. The devised fuzzy inference system was verified comparing the inferred value with the investigation data, and proved to be validated. Thus it is anticipated that this system for quantifying EAF is certain to be considered into the starting point to develop the performance-based durability design considering the service life of structure.

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

콘크리트 기술 산업 분야에서는 콘크리트 구조물의 구조설계의 효율성을 높이기 위한 노력뿐만 아니라 건설 산업의 환경부하를 줄이기 위한 일환으로 내구성능설계를 통하여 사용연한을 정량적으로 산정하려는 연구 노력이 진행되어 오고 있다. 이에 유럽 등 선진 각국에서는 PeBBu와 Duracrete라는 대형 프로젝트를 통하여 활발하게 이루어지지만 국내에서는 국가적인 연구가 미흡한 것이 현실적이다. 다량의 에너지 소비형 산업인 건설업에서 합리적인 설계를 통하여 콘크리트 구조물의 효율성을 증대시키려는 접근 방법은 21세기 친환경적인 건설 기술을 지향하는 의미에서도 적극적으로 장려되어야 할 연구 분야이다.^{1),2)}

* 정회원, 전북대학교 건축·도시 공학부, 강사, 박사수료
** 정회원, 한국건설기술연구원, 건축연구부, Post doc., 공학박사
*** 정회원, 전북대학교 건축·도시 공학부, 교수, 공학박사

콘크리트 구조물의 내구성 설계란 재료 역학적인 관점뿐만 아니라 콘크리트 자체의 광물학적 특성까지 고려하는 범위의 의미에서 설명될 수 있다. 여기서 내구성이란 ACI committee 116에서 보고된 시멘트, 콘크리트 용어집을 참고하여 보면 'the ability of concrete to resist weathering action, chemical attack, abrasion, and other conditions of service'라고 설명하고 있다. 즉 콘크리트의 내구성은 여러 환경적인 요인에 의해 결정되어진다는 것을 알 수 있다.^{3,4)}

콘크리트의 내구성을 고려한 RC 구조물의 내구성 설계는 실시 설계에 적용되는 경우 애매한 언어적인 표현으로 되어 있어 사실상 해석하는 이의 능력과 지적정도와 수준, 그리고 좀 과장일 수도 있지만 개인적인 기분에 따라 달리 적용될 수 있는 심각한 문제점을 지니고 있다. 즉 기존의 내구성 설계는 객관적이기보다는 주관적인 해석으로 인한 적용상의 오류를 범할 수 있는 주먹구구식의 표현으로 구성되어 있다. 이에 본 연구는 기존의 deem-to-satisfy한 내구성 설계를 개선하고자 하는 데 이를 위해서는 콘크리트 구조물이 노출되어 있는 전술한 여러 환경조건의 영향을 정량적으로 고려하여야 한다. 왜냐하면 내구설계의 대상이 되는 콘크리트 구조물은 각각 위치하는 환경이 다르며 서로 다른 환경 조건은 구조물에 대하여 서로 다른 메카니즘과 열화속도로써 영향을 주기 때문에 설계법의 객관성을 확보하기 위해 영향지수가 수치적 표현 불가결한 선택이다. 따라서 본 연구는 콘크리트 구조물이 처해 있는 여러 환경조건에 대하여 퍼지 추론의 방법을 통해 환경영향지수를 정량적으로 산출하는 데 목적을 두고 있다.

2.2 연구 방법 및 절차

본 연구의 대상이 되는 환경조건은 염해조건으로 한정하며 그 구성 요소로는 온도(TEMP), 습도(RH), 콘크리트 표면에서의 염화물 이온농도(Chloride), 건습의 반복정도(CWD)의 매개변수가 채택되었다. 이들 매개변수들의 구조물에 대한 영향지수는 여러 참고문헌과 기술자료, 텔파이 기법을 통한 전문가 집단의 브레인스토밍 등의 방법을 통해 얻어진 정성적 혹은 정량적인 여러 자료를 집대성한 후 규칙 기반 추론(rule-based inference)을 통하여 지수화가 이루어 졌다. 이렇게 퍼지 추론 시스템을 구성하여 얻어진 환경조건의 지수화 된 영향력은 정성적이며 언어적으로 표현되어 있는 기존의 규정형의 주먹구구식(rule of thumb)의 내구설계에 비하여 좀 더 객관적인 설계 방법을 이루기 위한 노력의 시작점이 될 것으로 생각된다.^{4,5)}

2. 염해에 노출된 RC구조물의 환경영향인자와 그 영향

본 연구에서는 염해에 노출된 RC 구조물에 대한 일반적 환경특성을 고려하였다. 즉 염화물 이온의 표면 농도와 이의 확산에 영향을 주는 건습의 반복정도와 상대습도 그리고 부식속도에 영향을 주는 요인인 대기온도가 고려되었다. 특히 상대습도가 거의 100%로 매우 높거나 온도40℃이상으로 계속 상승하는 경우에는 오히려 부식속도가 감소한다는 연구결과가 있으므로 이를 고려하였으며, 특히 염수에 침적된 경우 보다 비말대(splash zone)에서 표면농도가 높고 부식속도가 높다는 점을 고려하여 영향지수를 산정하였다.⁷⁾ 여기서 각 영향인자들은 기존의 확률론적 접근법에서는 임의의 랜덤수로 처리되는 불확실성을 가지고 있는 애매한 수로서 본 연구에서는 이들의 수를 퍼지적 성격을 가지는 언어변수로 처리하였다.

3. 퍼지 추론 시스템의 구축

3.1 시스템 구조

Figure 1은 본 연구에서 환경영향지수의 산정을 위해 구축된 퍼지시스템의 구조를 나타내는 것으로

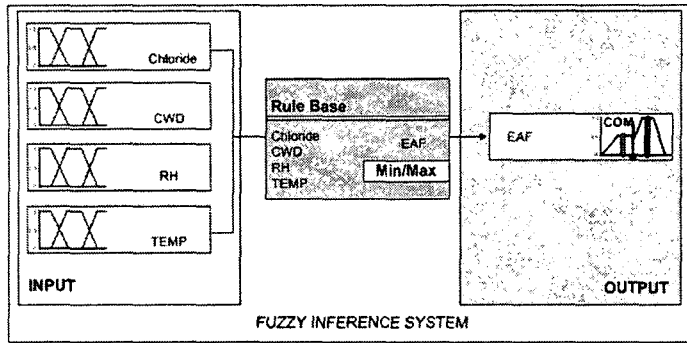


Figure 1 Fuzzy inference system for estimating the EAF

환경영향인자들의 자료들을 받아들이는 입력부와 정량화된 지수를 내보내는 출력부, 그리고 출력부에 대한 입력 매개변수들의 역학적 관계가 여러 참고문헌과 실험자료 등을 참조하여 구축된 규칙 기반 추론엔진으로 구성되어 있다. 다음은 본 시스템에 사용된 규칙의 일부분이다.

Rule 1: Chloride가 low_medium이고, CWD가 mild이고 RH가 very_low이고 TEMP가 low이거나 또는 high이면, EAF는 EAF1이다.

Rule 2: Chloride가 low_medium이거나 medium_high이고, CWD가 mild이거나 moderate이고, RH가 very_low이고, TEMP가 medium_low이거나 medium_high이면, EAF는 EAF2이다.

Rule 3: Chloride가 low_medium이고 CWD가 mild이고 RH가 low이거나 medium이거나 very_high이고, TEMP가 low이거나 high이면, EAF는 EAF1이다.

Rule 4: Chloride가 low_medium이고, CWD가 mild이고, RH가 low이고 TEMP가 medium_low이거나 medium_high이면, EAF는 EAF2이다.

..... 이하 생략

Table 2 linguistic variables and membership functions of these terms

Variable Name	Description	Range	Membership function
Chloride	Chloride concentration at the surface of concrete	0 - 13kg/m ³	
CWD	Cyclic degree of wet and dry	0 - 1	
RH	Relative humidity of environment	30 - 100%	
TEMP	Temperature of environment	5 - 80°C	
EAF	Environmental affecting factor	0 - 10	

Table 2에는 본 연구의 퍼지시스템에 사용된 언어변수들의 소속 함수들과 범위를 나타내고 있는 것으로 각 언어변수의 소속 함수들은 선형의 그래프로 표현되었으며 출력변수인 EAF에 대하여 적절한 범위와 형태를 가지도록 여러 차례의 시행착오를 거쳐 결정되었다.

추론부의 연산은 Crisp 값으로 주어진 각 입력변수들에 대하여 MIN-MAX의 방법을 통하여 이루어졌으며 각 규칙의 aggregation은 MAX의 방법으로 이뤄졌다. 최종적으로 EAF값은 MAX법으로 총체

화된 소속함수에 대하여 CoM(Ceneter of Maximum)의 방법으로 비퍼지화(defuzzification)가 이루어졌다.⁶⁾

4. 환경영향지수 산정 용 퍼지 추론 시스템의 검증

Figure 2는 온도가 20℃이고 상대습도가 60%인 경우에 EAF에 대한 chloride와 CWD의 상호효과를 나타내고 있고, Figure 3는 온도가 25℃이고 CWD가 0.5인 경우에 chloride와 상대습도에 따른 EAF의 수치를 나타내고 있다. 각 환경변수에 따른 EAF의 비퍼지화된 값을 보면 상대습도가 매우 높은 경우 즉 완전히 물속에 침지되어 있는 경우 보다 상대습도가 약 90%정도이고 건습의 반복이 심한 경우(비말대) 훨씬 염해의 위험이 높다는 일반적으로 알려져 있는 환경인자의 영향을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

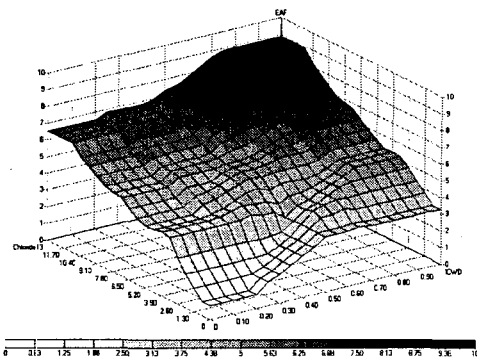


Figure 2 EAF inferred by the relation of chloride and CWD in case of TEMP of 20℃ and RH of 60%

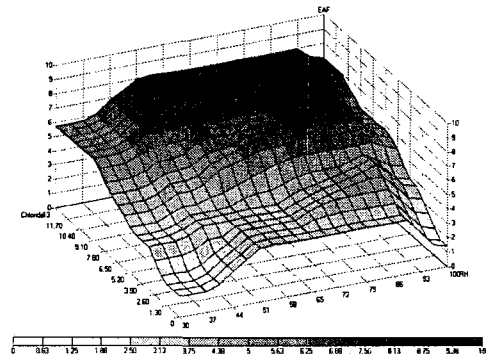


Figure 3 EAF inferred by the relation of chloride and CWD in case of TEMP of 25℃ and CWD of 0.5

5. 결론

본 연구는 철근 콘크리트 구조물의 내구성능설계를 위한 연구의 일부분으로써 구조물의 환경적 영향을 정량적으로 고려하기 위하여 정성적인 표현을 정량적으로 처리할 수 있는 퍼지이론을 이용하여 환경영향지수를 산정한 것이다.

연구의 결과 환경영향지수를 산정하기 위한 퍼지이론의 적용은 매우 유용한 것으로 판단되며 구축된 시스템의 검증 결과를 보더라도 그 효용성은 충분히 입증될 수 있을 것으로 본다. 다만 참고문헌과 기존의 여러 연구문헌을 기반으로 구축된 추론 규칙에 대하여 많은 사례를 통하여 미세조정을 함으로써 추론엔진의 정확성과 지역적 보편성을 높일 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. Jeongyun Do, Hun Song and Yangseob Soh, "Nominal Cover Thickness Design of RC Quantitatively Considering Environment Condition by means of Fuzzy Inference System", Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol.3 No.2, Nov. 2004, pp.225-232.
2. Jeongyun Do, Hun Song and Yangseob Soh, "Fuzzy Inference Based Design for Durability of Reinforced Concrete Structure in Chloride-Induced Corrosion Environment", Vol.17 No.1, Feb. 2005, pp.157-166.
3. ACI 116R-00, Cement and Concrete Terminology, American Concrete Institute, 2004.
4. ACI 318-02/318R-02, Building Code Requirement for Structural Concrete and Commentary, American Concrete Institute, 2004.
5. BS EN 206-1/BS 8500, Guide to the Selection of Concrete Quality and Cover to Reinforcement for Normal Concrete Structures, 2002.
6. George J. Klir and Bo Yuan, Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications, Prentice-Hall Inc., USA, 1995.
7. 日本建築学会, 鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針(案)・同解説, 2004.