

## 퍼지근사추론을 이용한 교량 서비스 수준 산정에 관한 연구

조병완, 김현\*, 김장욱, 지세영  
한양대학교 건설환경공학과

### A Study on Evaluating the Level of Service for Bridges using Fuzzy Approximate Reasoning

Byung-Wan Jo, Heon Kim\*, Jang-Wook Kim, Se-Young Chi

Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

**요약** 교량 및 터널 등과 같은 사회기반시설물은 국가경제발전을 위한 중요한 요소 중 하나로 갑작스런 교량 붕괴 등이 발생할 경우 사회적, 경제적으로 많은 손실과 인명 피해의 대형사고로 이어질 수 있어 이용자의 안전을 보장하고 일정 수준 이상의 성능을 유지할 위한 예산의 확보, 유지관리 소요예산의 특정시기 집중방지를 위하여 효율적인 유지관리기법의 적용이 요구된다. 이에 시설물 노후화에 따른 유지관리 비용이 약 40% 차지하는 등 유지관리 예산의 비용이 급격하게 증가하는 것을 경험한 선진국에서는 한정된 유지관리 예산에서 적정수준의 시설물 서비스 수준(Level of Service) 유지, 효율적인 예산 운영, 합리적인 의사결정 지원을 할 수 있는 자산관리체계 도입을 위하여 많은 노력을 하고 있다. 특히, 자산관리체계에서의 서비스수준(Level of Service, LOS)은 관리자가 관리목표 설정을 하고, 최적의 예산투입을 위한 우선순위를 의사결정 할 수 있는 중요한 요소이다. 이에 본 논문에서는 교량이 이용자에게 제공하는 서비스 수준을 평가하기 위하여 퍼지이론을 이용하여 새로운 서비스 수준 평가 방법을 제시하고, 실제 교량에 서비스수준 평가 모형을 적용하여 검증하였다.

**Abstract** Infrastructures such as bridges and tunnels are crucial elements of national economic growth, and sudden collapses may lead to great catastrophes with significant social and economic losses, as well as a loss of lives. Hence, an efficient maintenance technique must be applied to guarantee safety, secure budgets to maintain a certain level of service, and prevent maintenance expenditures from being concentrated in a specific time period. Developed countries have experienced rapid increases in maintenance budgets, and maintenance costs now account for about 40% of the total maintenance budget. The level of service in asset management systems is an essential element for setting management goals and making priority decisions. Therefore, this study uses fuzzy theory to develop a new way to assess the level of service. The assessment model was applied to an actual bridge to evaluate the level of service for users.

**Keywords** : Asset Management, Bridge, Level of Service, Maintenance, Fuzzy

## 1. 서론

### 1.1 배경

국내 도로교량은 총 29,896개소(총연장 2,950km, 도로업무편람 2015)으로 30년이상 된 교량의 수는 2,786개소이며 10~30년미만 17,970개소로 전체 교량의 약 60%가 30년 미만의 사용 연수를 지니고 있으며 건설시

기가 집중되어 있다.[1] 이는 교량의 평균수명(Service Life)이 50~100년인 것을 고려하면, 향후 시간이 지남에 따라 시설물 노후화에 따른 유지관리 비용이 발생할 것이며 유지관리 비용이 특정시기에 집중할 것으로 예상된다.[2] 또한, 1994년 성수대교 붕괴사고와 2013년 미국 워싱턴주 I-5 교량 붕괴사고 등 교량 붕괴 등이 발생할 경우 사회적, 경제적으로 많은 손실과 인명 피해의 대

\*Corresponding Author : Heon Kim(Hanyang Univ.)

Tel: +82-2-2220-0327 email: military744@nate.com

Received May 31, 2017

Revised (1st July 12, 2017, 2nd August 4, 2017)

Accepted August 17, 2017

Published August 31, 2017

형사고로 이어질 수 있어 교량의 장수명화와 이용자의 안전을 보장하기 위한 일정 수준 이상의 성능을 유지해야 할 필요가 있다.[3] 따라서, 적정수준의 성능 유지를 위한 예산의 확보, 유지관리 소요예산의 특정시기 집중 방지를 위하여 효율적인 유지관리기법의 적용이 요구된다.[4]

이에 해외 선진국의 경우 1980년대 시설물의 노후화로 인한 유지관리 비용이 급증하면서 1990년대에는 건설예산의 약 40%의 유지관리 비용이 차지하는 등 유지관리 예산의 비용이 급격하게 증가하여 한정된 유지관리 예산에서 적정수준의 시설물 서비스 수준 유지, 효율적인 예산 운영, 합리적인 의사결정 지원하기 위하여 자산관리 개념을 도입하여 운영 중에 있으며[5], 국내에서는 사회기반시설물에 자산관리체계 도입을 위한 연구가 진행 중이다. 특히, 자산관리체계에서의 서비스수준(Level of Service, LOS)은 관리자가 관리목표 설정을 하고, 최적의 예산투입을 위한 우선순위를 결정하게 된다. 그만큼 서비스 수준의 항목 설정 및 평가 방법은 자산관리체계 도입에 있어 중요한 요소이지만 구체적인 방법론이 마련되지 않고 있는 실정이다. 또한, 교량 서비스 수준 평가는 이용자의 애매한 개인의 신체적, 감성적 특성에 따라 각기 다르게 평가될 수 있어, 기존의 서비스수준 평가에서는 개인의 주관적이고 다양함을 고려하여 평가하는데 한계가 있다.

이에 본 연구는 기존 제시된 교량 서비스 수준 평가 항목 및 방법에 대하여 국내외 현황을 고찰하고, 교량 이용자에게 영향을 미치는 인자들 중에 퍼지적 성격을 가진 인자를 추출하여 이용자의 애매하고 불확실한 정보 등을 평가하는데 효율적인 방법으로 알려져 있는 퍼지이론을 이용하여 새로운 서비스 수준 산정 방법을 제시하고, 실제 교량에 서비스수준 평가 모형을 적용하여 검증하고자 한다.

## 1.2 연구동향

미국 NCHRP Report 677(2010)에서는 도로시설물 대하여 서비스 수준 평가를 정의하고 있다. 그중에 교량은 별도로 구분하여 바닥판, 상부구조, 하부구조, 접근성, 내하성능 등으로 구성하고 NBI(National Bridge Inventory) 이용하여 A~F등급으로 구분하여 서비스 수준을 평가하고 있다.[6] 국내 연구동향으로는 Park et al.(2009)은 교량 자산관리 개념을 정의하고 교량 자산

관리 체계를 제시하였다. 또한, 정량적 평가를 위한 성능 척도를 정의하고 교량별 중요도에 따른 가중치를 적용하여 교량 서비스수준 평가 방법을 제안하였다.[7] Choi et al.(2013)은 위험도 개념을 적용하여 교량 자산관리체계를 제시하고, 교량 서비스 수준을 평가 하기 위하여 성능 척도별 내재된 잠재적인 위험도 평가를 하였다.[4] Kim et al.(2016)은 도심지 교량에 대한 자산관리체계 및 서비스 수준을 제시하고, 서비스 수준 평가를 위하여 Technical과 Community으로 구분하고 정성적/정량적 기준인 성능척도를 제시하였다.[8] 하지만 교량 서비스 수준 평가는 개인의 신체적, 감성적 특성에 따라 각기 다르게 평가될 수 있어 기존의 분석방법으로는 개인의 애매하고 불확실한 정보를 고려하여 평가하지는 못하였다. 또한, 시설물 자산관리의 중요성에 대한 인식이 점점 확산되어져 감에 따라 교량 서비스수준의 정확한 평가가 필요하게 되었고, 사람이 느끼는 서비스수준과 동일한 서비스수준 산정을 위한 연구가 필요하다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 자산관리 정의

선진국의 자산관리에 대한 정의를 살펴보면, 국제시설물관리매뉴얼 IIMM(International Infrastructure Management Manual)에서는 “시설물의 요구되는 서비스 수준을 유지하기 위해서 가장 경제적으로 효과적인 관리를 통해 현재와 미래의 이용자를 위해 시설물의 서비스 수준을 유지시키는 것”이라고 정의하였다.[9] 미국 연방도로청(Federal Highway Administration, FHWA)은 “유형 자산을 비용효율적인 방법으로 유지관리, 개선, 운용하는 체계적인 절차”라고 정의하고 있다. 또한, 경제협력개발기구 OECD 회원국들이 참여하여 자산관리 수행방법 정립을 위한 연구를 수행하였으며, 보고서에 따르면, “공학적인 원리와 바람직한 경영방법 및 경제학적 합리성을 결합하고, 공공의 기대목표를 달성하는데 필요한 의사결정을 더욱 조직적이고 유연성 있게 함으로써 자산을 유지관리, 개량, 운용하는 체계적인 프로세스”라고 정의하고 있다. 위에서 설명하는 선진국의 자산관리 정의를 정리하면 “현재와 미래의 사용자가 원하는 서비스수준을 비용 효율적으로 달성하기 위한 자원 할당에 관한 체계적인 의사결정”이라고 정의할 수 있다.[10]

### 2.2 교량 서비스수준 개념

교량 서비스 수준은 관리자 및 이용자들에게 제공하는 서비스 기능들을 시설물관리주체가 추진하고자 하는 정책에 의해서 정의한 서비스 수준 관리목표를 설정하고, 관리목표를 달성하기 위한 정성적/정량적인 서비스 평가항목과 성능지표를 결정한다. 성능지표는 시설물이 제공하는 서비스를 관리자 및 이용자에 대한 만족도를 얼마나 충족시킬 수 있는 지에 대하여 수치적으로 평가할 수 있는 지표를 말한다.[11] 즉, 교량 시설물에 대한 서비스 수준은 관리자 및 이용자들에게 시설물이 제공하는 다양한 서비스 기능들을 평가 할 수 있는 기준이라 할 수 있다.[8]

### 2.3 퍼지이론

퍼지이론(Fuzzy Theory)은[12] 1965년 미국 캘리포니아 주 버클리 대학의 L.A. Zadeh 교수에 의해서 제안된 이론으로 퍼지이론에서 다루고 있는 애매한 상황은 모호성(ambiguity)와 애매성(vagueness)으로 구분되지만 일반적으로 집합의 경계에 대한 불확실한 상황을 말한다.

퍼지이론을 응용분야에는 퍼지집합, 퍼지논리, 퍼지척도론 등으로 근사추론과정을 통한 전문가 시스템(Expert System)에의 적용하고 있으며, 이외의 퍼지의 사결정 등 많은 부분에서 퍼지이론이 사용되고 있다.

인간이 어떤 결정을 하기 위해 수치나 정확한 계산에 의한 것이 아니라 개략적인 추론을 통해 결정을 하게 된다. 이와 같은 과정을 퍼지이론을 이용하여 모형화한 것이 퍼지근사추론(Fuzzy Approximate Reasoning)이다. 퍼지근사추론을 이용하여 교량 서비스 수준 평가 산정에 적용할 경우 수치로 나타내기 어려운 교량 주위의 소음 등에 고려할 수 있다.

퍼지근사추론은 변수의 입력부 퍼지화기(Fuzzifier), FRB(Fuzzy Rule Base)를 포함한 퍼지 추론부, 그리고 비퍼지화기(Defuzzifier)로 구성되어진다.

퍼지규칙은 일반적으로 IF-THEN 형식으로 나타낼 수 있으며 추론부는 어떤 주어진 규칙으로부터 새로운 관계나 사실을 유추해 나가는 일련의 과정으로 이는 퍼지개념에 기초를 둔 인간의 의사결정을 모형화 할 수 있다. max-min 추론을 사용하여 입력변수 2, 출력변수 1인 시스템을 구성하면 Mamdani의 min연산은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

Input : x is A' AND y is B'

R1 : IF x is A<sub>1</sub> AND y is B<sub>1</sub>. THEN Z is C<sub>1</sub>

or R2 : IF x is A<sub>2</sub> AND y is B<sub>2</sub>, THEN z is C<sub>2</sub>

or Rn : IF x is A<sub>n</sub> AND y is B<sub>n</sub>, THEN z is C<sub>n</sub>

Conclusion : z is C<sub>n</sub>

$$R_c: \mu_c(z) = \bigvee_{i=1}^n (\alpha_i \wedge \mu_{C_i}(z))$$

$$\equiv \bigvee_{i=1}^n [\mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0)] \wedge \mu_{C_i}(z)$$

식 (1)

여기서, A', B' : 입력에 대한 퍼지집합을 나타내며, A<sub>i</sub>, B<sub>i</sub>, C<sub>i</sub> : 퍼지규칙의 편수 x, y, z에 대한 퍼지집합을, C' : 결론에 대한 퍼지집합이다. RC는 Mamdani의 min 연산규칙을 의미하며, α<sub>i</sub>는 j번째 규칙에 대한 집화강도(firing strength)을 나타내며, μ<sub>c'</sub>, μ<sub>c</sub>, μ<sub>Ai</sub>, μ<sub>Bi</sub>는 퍼지집합 C', C<sub>i</sub>, A<sub>i</sub>, B<sub>i</sub>에 대한 소속도함수를 표현한 것이다. 그리고, x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub> : 시스템의 실제 입력 값이며, R' : 퍼지규칙 (fuzzy rule)의 번호이고, ∧, ∨는 논리합(max 연산), 논리곱(min 연산)이며, 이를 도식화하면 Fig. 1과 같이 표현할 수 있다.

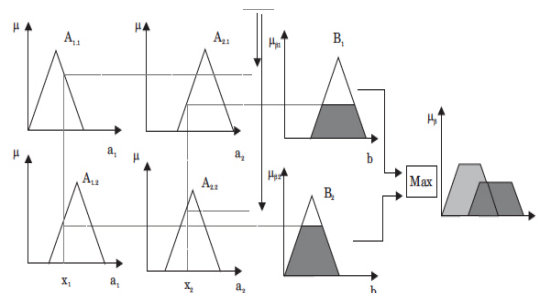


Fig. 1. Maximum-minimum inference for the Mamdani model[13]

비퍼지화는 소속함수로 표현하는 퍼지량을 크리스프(crisp)값으로 변환하는 것으로 여러 가지 방법이 있으나 무게중심법(centroid of gravity method)이 가장 일반적으로 사용된다. 무게중심법은 합성된 출력 퍼지집합의 무게 중심을 구하여 그에 해당하는 제어 값을 제어 입력값으로 사용하는 방법이다.

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_c(z_j) z_j}{\sum_{i=1}^n \mu_c(z_j)} \quad \text{식 (2)}$$

여기서, n : 전체 출력의 분할정도(Quantization Level), z<sub>j</sub> : 분할정도 j에 따른 출력, μ<sub>c</sub>(z<sub>j</sub>) : 결론부 퍼지집합 C에 대한 z<sub>j</sub>의 소속함수값이다.

### 3. 서비스수준 산정을 위한

#### Fuzzy 구축 모형

##### 3.1 교량 서비스 수준 평가 항목 결정

교량 서비스 수준 평가 항목에 대하여 Sun et al.(2011)은[14] 교량의 서비스 수준 평가를 정성적/정량적으로 평가하기 위한 지표로 21개의 성능척도(PM) 평가기준(안)이 근간이 되며 정성적/정량적 기준 제시가 불가능한 비용의 적절성, 신뢰성/대응, 고객서비스를 제외하였다. 이에 본 연구에서는 안전성, 교량주위소음, 도로와 효율적으로 연계, 운전자의 안전운행 가능여부 등을 선정하고 Matlab Toolbox를 이용하여 퍼지근사추론 모형을 구축하였다.

##### 3.2 성능척도별 퍼지화를 위한 세부요소 결정

###### 3.2.1 안전성

교량 안전성은 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(교량) 2012년”에[15]상태평가 지침의 상태등급에 따른 결함도범위를 이용하여 5개의 퍼지집합으로 정의하였다.

###### 3.2.2 교량 주위의 소음

교량 주위의 소음 수준은 Choi et al.(2013)에서 제시하고 있는 교량의 차량통과에 의하여 발생하는 소음에 대한 최저수준은 50dB미만, 60~70dB보통, 90dB 이를 초과하면 위험의 정도가 매우 높아지는 것을 고려하여 50dB을 100%, 90dB을 0%으로 환산하고 3개의 퍼지집합으로 정의하였다.

###### 3.2.3 도로와 효율적으로 연계

도로와 효율적으로 연계의 변수는 교량의 혼잡상황을

판단하는 통행시간지표 TTI(Travel Time Index)을 이용하여 평가하였다.[16] 본 연구에서는 통행시간지표가 0 이면 100%, 통행시간지표 2이상이면 0%으로 환산하여 3개의 퍼지집합으로 설정하였다. 통행시간지표는 식 (3) 과 같이 자유속도 상태의 통행시간 대비 첨두시간 통행시간의 비율로 산정할 수 있다.

$$TTI = \frac{\text{첨두시간대 통행시간}}{\text{자유류 통행시간}} \quad \text{식 (3)}$$

$$= \frac{\text{자유류 통행속도}}{\text{첨두시간대 통행속도}}$$

##### 3.2.4 운전자의 안전운행 가능여부

운전자의 안전운행 가능여부는 차선회도에 대하여 평가하였다. 차선회도는 주·야간 특히 야간에도 도로이용자에게 정확한 정보를 제공하기 위하여 일정한 수준의 반사성능을 유지하여야 하는 아주 중요한 요소이다. 차선회도는 경찰청 교통노면표시 설치·관리 매뉴얼[17]에서 Table. 1과 같이 제시하고 있는 백색 설치시 노면표시에 대하여 변수로 사용하였다. 노면표시의 시인성과 관련된 기준치는 차량의 전조등에 반사되는 입사면의 재귀반사명시도를 주로 사용한다. 재귀반사명시도는 입사각, 관측각 그리고 도색 후 시기 및 재도색 시기에 따라 색채별로 기준치를 갖는다. 본 연구에서는 백색 설치시 240mcd/(m<sup>2</sup>·Lux)을 100%, 재도색시 100 mcd/(m<sup>2</sup>·Lux) 0%으로 환산하여 3개의 퍼지집합으로 설정하였다.

Table 1. Painted type road surface reflection performance standard unit : mcd/(m<sup>2</sup>·Lux)

| Glancing Angle    | Observed Angle   | Division             | Reflective performance |        |      | Remarks   |
|-------------------|------------------|----------------------|------------------------|--------|------|-----------|
|                   |                  |                      | White                  | yellow | Blue |           |
| 88.76°<br>(1.24°) | 1.05°<br>(2.29°) | Upon installation    | 240                    | 150    | 80   | standard  |
|                   |                  | Repainting time      | 100                    | 70     | 40   | recommend |
|                   |                  | rain (wet) condition | 100                    | 70     | 40   | recommend |

##### 3.2.5 교량 서비스 만족도

출력변수는 교량 서비스 만족도로 결정하고, 만족도는 0~100까지 점수가 높을수록 교량 서비스 만족도가 높음을 나타내며 퍼지집합은 5개로 설정하였다.

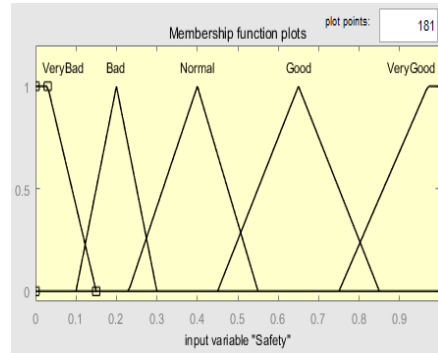
### 3.3 퍼지 입·출력변수 멤버십 함수 결정

교량 서비스 수준 척도를 통하여 결정된 PM별(안정성, 교량 주위의 소음, 도로와 효율적으로 연계, 운전자의 안전운행 가능여부) 퍼지 입·출력변수의 퍼지변수와 입·출력변의 각 집합에 대한 멤버십 함수 범위는 Table. 2와 같다.

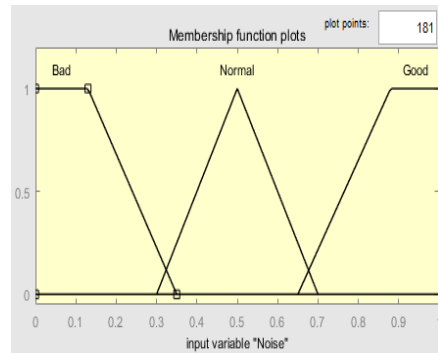
**Table 2.** Classification and level of purge input / output variables

| Input / output variable | Fuzzy variable     | Fuzzy range                    | Fuzzy language     |           |
|-------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|-----------|
| Input variable          | Safety             | condition (Very bad)           | 0~0.15             | Very Bad  |
|                         |                    | condition (bad)                | 0.1~0.3            | Bad       |
|                         |                    | condition (Normal)             | 0.23~0.55          | Normal    |
|                         |                    | condition (Good)               | 0.45~0.85          | Good      |
|                         |                    | condition (Very Good)          | 0.75~1.0           | Very Good |
|                         | noise evaluation   | The size of the noise (bad)    | 0~35% (68~90db)    | Bad       |
|                         |                    | The size of the noise (Normal) | 30%~70% (58~72db)  | Normal    |
|                         |                    | The size of the noise (Good)   | 65%~100% (50~62db) | Good      |
|                         | Traffic Delay      | Vehicle traffic (crowded)      | 0~30% (1.6~2.0)    | Bad       |
|                         |                    | Vehicle traffic (Normal)       | 25%~80% (0.8~1.5)  | Normal    |
|                         |                    | Vehicle traffic (Smooth)       | 75%~100% (0~0.7)   | Good      |
|                         | Lane Luminance     | Lane luminance (Bad)           | 0~37% (100~150)    | Bad       |
| Lane luminance (Normal) |                    | 32%~72% (145~200)              | Normal             |           |
| Lane luminance (Good)   |                    | 67%~100% (190~240)             | Good               |           |
| Output variable         | Bridge Service LOS | Bridge Service LOS(Very high)  | 78~100             | Very High |
|                         |                    | Bridge Service LOS(High)       | 58~83              | High      |
|                         |                    | Bridge Service LOS(Normal)     | 38~63              | Medium    |
|                         |                    | Bridge Service LOS(low)        | 18~42              | Low       |
|                         |                    | Bridge Service LOS(very low)   | 0~23               | Very Low  |

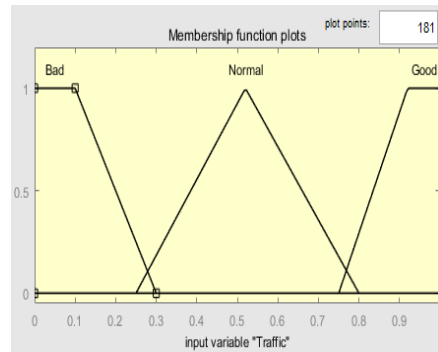
퍼지변수는 연속형 Triangular와 Trapezoidal 형태의 멤버십 함수를 사용하였다. Table. 2와 같이 각 PM의 퍼지 범위와 퍼지언어를 이용하여 퍼지 입·출력변수에 대한 멤버십 함수 형태는 Fig. 2와 같이 표현할 수 있다. 여기서 가로축은 기저변수로서 정량화 된 값을 가지고 있고, 세로축은 퍼지 귀속도(Degree of relationship)으로 0과 1사이의 값을 가진다.



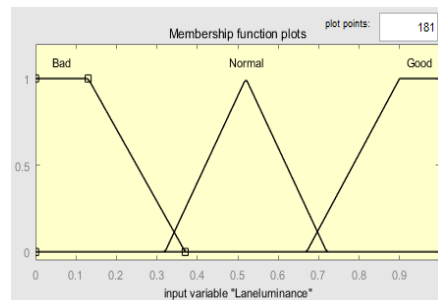
(a) Membership function of safety(Input 1)



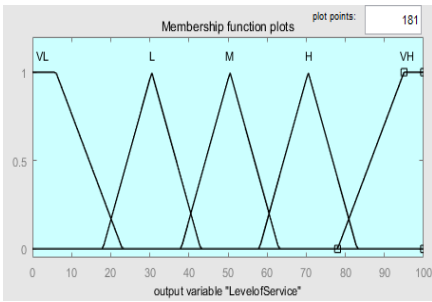
(b) Membership function of the noise around bridges(Input 2)



(c) Membership Function at the Traffic Delay Level(Input 3)



(d) Membership Function for Lane Luminance(Input 4)



(e) Bridge Level of Service Membership Function(Output)

Fig. 2. Bridge Level of Service Assessment Membership Function

### 3.4 퍼지제어규칙(Fuzzy Rule) 및 퍼지 모형 검토

퍼지제어규칙은 복잡한 시스템의 조작지식을 일반 제 어기로는 구현할 수 없는 경우에 매우 효과적인 방법인 퍼지 전문가 시스템을 도입하여 퍼지제어규칙을 결정하 였다. 퍼지 전문가 시스템은 전문지식과 경험을 정성적 인 언어로 표현하고 논리화함으로써 제어규칙을 얻게 된 다. 안전성, 교량 주위의 소음, 차량지체, 차선회도에 대 한 135개의 퍼지제어규칙은 Fig. 3과 같이 표시할 수 있 으며 이를 표로서 나타내면 Table. 3과 같다.

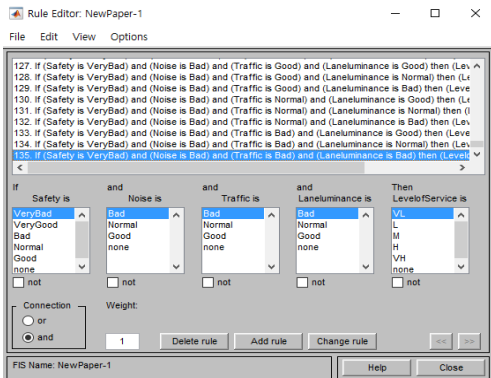


Fig. 3. Fuzzy control rule

Table 3. Fuzzy control rule

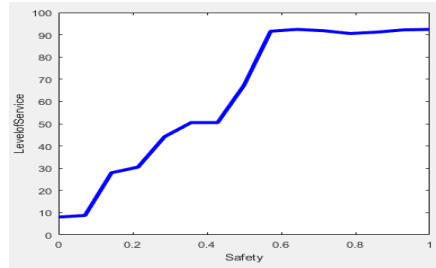
| Rule | Input variable |                  |         |                | Bridge level of service |
|------|----------------|------------------|---------|----------------|-------------------------|
|      | Safety         | Noise evaluation | Traffic | lane luminance |                         |
| 1    | A              | Good             | Good    | Good           | Very High               |
| 2    |                |                  |         | Normal         | Very High               |
| 3    |                |                  | Normal  | Bad            | Very High               |
| 4    |                |                  |         | Good           | Very High               |
| 5    |                |                  | Bad     | Normal         | Very High               |
| 6    |                |                  |         | Bad            | Very High               |
| 7    |                |                  |         | Good           | Very High               |
| 8    |                |                  |         | Normal         | Very High               |

|    |        |        |        |           |           |
|----|--------|--------|--------|-----------|-----------|
| 9  | B      | Normal | Good   | Bad       | High      |
| 10 |        |        |        | Good      | Very High |
| 11 |        |        | Normal | Normal    | Very High |
| 12 |        |        |        | Bad       | Very High |
| 13 |        |        | Bad    | Good      | Very High |
| 14 |        |        |        | Normal    | Very High |
| 15 |        | Good   | Bad    | Very High |           |
| 16 |        |        | Good   | Very High |           |
| 17 |        | Normal | Normal | Very High |           |
| 18 |        |        | Bad    | High      |           |
| 19 |        | Bad    | Good   | Good      | Very High |
| 20 |        |        |        | Normal    | Very High |
| 21 |        |        | Normal | Bad       | Very High |
| 22 |        |        |        | Good      | Very High |
| 23 |        |        | Bad    | Normal    | Very High |
| 24 |        |        |        | Bad       | Very High |
| 25 |        | Good   | Good   | Very High |           |
| 26 |        |        | Normal | Very High |           |
| 27 |        | Bad    | Bad    | High      |           |
| 28 |        |        | Good   | Very High |           |
| 29 |        | Good   | Good   | Normal    | Very High |
| 30 |        |        |        | Bad       | Very High |
| 31 |        |        | Normal | Good      | Very High |
| 32 |        |        |        | Normal    | Very High |
| 33 |        |        | Bad    | Bad       | High      |
| 34 |        |        |        | Good      | Very High |
| 35 |        | Normal | Bad    | Normal    | High      |
| 36 |        |        |        | Bad       | High      |
| 37 |        |        | Good   | Good      | Very High |
| 38 |        |        |        | Normal    | Very High |
| 39 | Normal |        | Bad    | Very High |           |
| 40 |        |        | Good   | Very High |           |
| 41 | Bad    | Good   | Good   | Very High |           |
| 42 |        |        | Bad    | High      |           |
| 43 |        | Normal | Good   | Very High |           |
| 44 |        |        | Normal | Very High |           |
| 45 |        | Bad    | Bad    | High      |           |
| 46 |        |        | Good   | Very High |           |
| 47 | Good   | Good   | Good   | Very High |           |
| 48 |        |        | Normal | Very High |           |
| 49 |        | Normal | Bad    | Very High |           |
| 50 |        |        | Good   | Very High |           |
| 51 |        | Bad    | Bad    | High      |           |
| 52 |        |        | Good   | Very High |           |
| 53 | Normal | Bad    | Normal | High      |           |
| 54 |        |        | Bad    | High      |           |
| 55 |        | Good   | Good   | High      |           |
| 56 |        |        | Normal | High      |           |
| 57 |        | Bad    | Bad    | Medium    |           |
| 58 |        |        | Good   | High      |           |
| 59 | Good   | Normal | Good   | High      |           |
| 60 |        |        | Normal | High      |           |
| 61 |        | Bad    | Bad    | Medium    |           |
| 62 |        |        | Good   | High      |           |
| 63 |        | Normal | Bad    | Medium    |           |
| 64 |        |        | Good   | High      |           |
| 65 | Bad    | Good   | Good   | Medium    |           |
| 66 |        |        | Bad    | Medium    |           |
| 67 |        | Normal | Good   | High      |           |
| 68 |        |        | Normal | Medium    |           |
| 69 |        | Bad    | Bad    | Medium    |           |
| 70 |        |        | Good   | Medium    |           |
| 71 | Good   | Normal | Normal | Medium    |           |
| 72 |        |        | Bad    | Low       |           |
| 73 |        | Bad    | Good   | Medium    |           |
| 74 |        |        | Normal | Medium    |           |
| 75 |        | Good   | Bad    | Low       |           |
| 76 |        |        | Good   | Medium    |           |
| 77 | Bad    | Normal | Good   | Medium    |           |
| 78 |        |        | Bad    | Low       |           |
| 79 |        | Bad    | Good   | Medium    |           |
| 80 |        |        | Normal | Low       |           |
| 81 |        | Good   | Bad    | Low       |           |

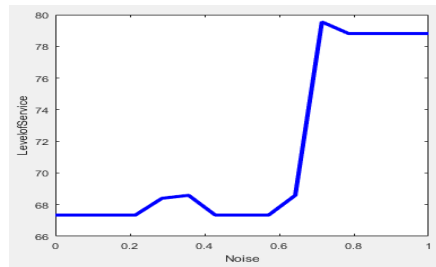
**Table 3.** Fuzzy control rule(continue)

| Rule | Input variable |                  |                           | Bridge level of service |          |        |
|------|----------------|------------------|---------------------------|-------------------------|----------|--------|
|      | Safety         | Noise evaluation | Traffic<br>lane luminance |                         |          |        |
| 82   | D              | Good             | Good                      | Good                    | Medium   |        |
| 83   |                |                  |                           | Normal                  | Medium   |        |
| 84   |                |                  |                           | Bad                     | Low      |        |
| 85   |                |                  | Normal                    | Good                    | Medium   |        |
| 86   |                |                  |                           | Normal                  | Medium   |        |
| 87   |                |                  |                           | Bad                     | Low      |        |
| 88   |                |                  | Bad                       | Good                    | Medium   |        |
| 89   |                |                  |                           | Normal                  | Low      |        |
| 90   |                |                  |                           | Bad                     | Low      |        |
| 91   |                |                  |                           | Normal                  | Good     | Good   |
| 92   |                | Normal           |                           |                         |          | Low    |
| 93   |                | Bad              |                           |                         |          | Low    |
| 94   |                | Normal           |                           |                         | Good     | Medium |
| 95   |                |                  | Normal                    |                         | Low      |        |
| 96   |                |                  | Bad                       |                         | Low      |        |
| 97   |                | Bad              | Good                      | Good                    | Low      |        |
| 98   |                |                  |                           | Normal                  | Low      |        |
| 99   |                |                  |                           | Bad                     | Very Low |        |
| 100  |                |                  | Bad                       | Good                    | Good     | Low    |
| 101  |                |                  |                           |                         | Normal   | Low    |
| 102  | Bad            |                  |                           |                         | Very Low |        |
| 103  | Normal         |                  |                           | Good                    | Low      |        |
| 104  |                |                  |                           | Normal                  | Low      |        |
| 105  |                |                  |                           | Bad                     | Very Low |        |
| 106  | Bad            | Good             |                           | Low                     |          |        |
| 107  |                | Normal           |                           | Very Low                |          |        |
| 108  |                | Bad              |                           | Very Low                |          |        |
| 109  | E              | Good             | Good                      | Good                    | Low      |        |
| 110  |                |                  |                           | Normal                  | Low      |        |
| 111  |                |                  |                           | Bad                     | Very Low |        |
| 112  |                |                  | Normal                    | Good                    | Low      |        |
| 113  |                |                  |                           | Normal                  | Low      |        |
| 114  |                |                  |                           | Bad                     | Very Low |        |
| 115  |                |                  | Bad                       | Good                    | Low      |        |
| 116  |                |                  |                           | Normal                  | Very Low |        |
| 117  |                |                  |                           | Bad                     | Very Low |        |
| 118  |                |                  | Normal                    | Good                    | Good     | Low    |
| 119  |                | Normal           |                           |                         | Very Low |        |
| 120  |                | Bad              |                           |                         | Very Low |        |
| 121  |                | Normal           |                           | Good                    | Low      |        |
| 122  |                |                  |                           | Normal                  | Very Low |        |
| 123  |                |                  |                           | Bad                     | Very Low |        |
| 124  |                | Bad              |                           | Good                    | Low      |        |
| 125  |                |                  |                           | Normal                  | Very Low |        |
| 126  |                |                  |                           | Bad                     | Very Low |        |
| 127  |                | Bad              |                           | Good                    | Good     | Low    |
| 128  |                |                  | Normal                    |                         | Low      |        |
| 129  | Bad            |                  | Very Low                  |                         |          |        |
| 130  | Normal         |                  | Good                      | Low                     |          |        |
| 131  |                |                  | Normal                    | Very Low                |          |        |
| 132  |                |                  | Bad                       | Very Low                |          |        |
| 133  | Bad            |                  | Good                      | Very Low                |          |        |
| 134  |                |                  | Normal                    | Very Low                |          |        |
| 135  |                | Bad              | Very Low                  |                         |          |        |

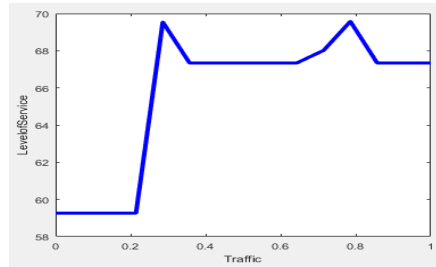
입력변수와 만족도와의 관계는 교량 주위의 소음의 영향은 적은 것으로 나타났으며, 안전성, 차선휘도, 차량 지체 변화에 따라 서비스 만족도가 변화하는 것으로 나타났다. 특히, 교량의 안전성에 따라 전반적으로 서비스 만족도를 결정하는데 많은 영향을 받는 것으로 서비스 수준 평가 모형을 Fig. 4과 같이 구축하였다.



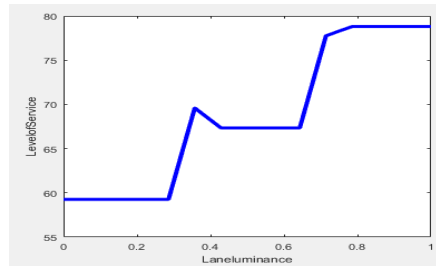
(a) Relationship between safety and LOS



(b) Relationship between noise and LOS



(c) Relationship between vehicle lateness and LOS



(d) Relationship between lane brightness and LOS

**Fig. 4.** Relationship between input variables and LOS

또한, Rule Viewer은 퍼지추론시스템을 진단·분석 하는데 사용되어지며, input란에 [안전성=0.81;소음=0.68;지체=0.26;휘도=0.34]을 입력하면 교량 서비스 수준 평가가 78.5으로 추론되는 것을 알 수 있다. 교량 주위의 소음, 차량지체, 차선휘도에 의한 교량 서비스수준 평가를 할 수 있는 Rule Viewer은 Fig. 5와 같다.

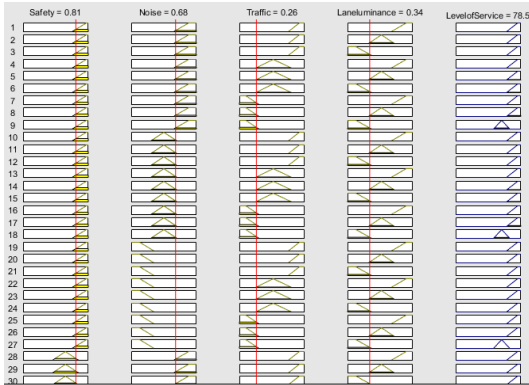


Fig. 5. Rule Viewer

#### 4. 교량 서비스 수준 평가 사례

교량 서비스 수준 산정하기 위하여 구축한 모형을 응용 중인 교량에 적용하여 적합성을 검토하였다. 대상 교량은 한강 상에 있는 5개 교량(각각 A~E로 구분)을 대상으로 하였다. 2015년 도로업무편람[1]을 통해 기본 현황 및 제원 정보를 획득하였고, 교량 주위의 소음 및 차선휘도 측정을 위해 현장조사를 실시하였다. 대상교량의 기본정보는 Table. 4와 같다.

Table 4. Target Bridge Information

| Category        | A Bridge | B Bridge  | C Bridge    | D Bridge  | E Bridge  |
|-----------------|----------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| Bridge Type     | Truss    | River box | Steel plate | River box | River box |
| Design load     | DB-24    | DB-24     | DB-24       | DB-24     | DB-24     |
| Total length    | 1,160m   | 1,220m    | 919m        | 1,490m    | 1,245m    |
| Total width     | 35m      | 20.4m     | 25.7m       | 25m       | 28.6m     |
| Completion year | 1997     | 1984      | 1969        | 1982      | 1984      |

안전성 평가 데이터는 최근 상태평가 자료를 이용하였으며, 차선휘도, 소음측정은 3개의 지점에서 측정하여 평균 값으로 사용하였다. 차량지체의 평가 방법은 2015년 서울특별시 교통량 조사자료[18]와 2015년 서울특별

시 차량통행속도 보고서[19]를 이용하여 통행시간지표 TTI(Travel Time Index)를 산정하였다. 교량 서비스수준을 평가하기 위한 데이터는 Table. 5와 같다.

Table 5. Bridge input data results

| Category       | A Bridge | B Bridge | C Bridge | D Bridge | E Bridge |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Safety         | 0.912    | 0.884    | 0.903    | 0.867    | 0.891    |
| Noise          | 77db     | 75db     | 70db     | 65db     | 76db     |
| Traffic        | 1.53     | 0.34     | 1.61     | 0.62     | 0.22     |
| Lane luminance | 233      | 244      | 249      | 224      | 236      |

Table 6. Bridge level of service result

| Category | Input variable |       |         |                | LOS  |
|----------|----------------|-------|---------|----------------|------|
|          | Safety         | Noise | Traffic | Lane luminance |      |
| A Bridge | 0.843          | 0.61  | 0.28    | 0.94           | 89.7 |
| B Bridge | 0.884          | 0.34  | 0.83    | 1.00           | 90.1 |
| C Bridge | 0.903          | 0.51  | 0.21    | 1.00           | 91.0 |
| D Bridge | 0.867          | 0.63  | 0.69    | 0.91           | 90.7 |
| E Bridge | 0.891          | 0.35  | 0.89    | 0.96           | 90.3 |

Table. 5를 이용하여 퍼지 입력 값으로 환산하여 퍼지 근사추론 모형을 통해 교량 서비스수준 평가 결과, Fig. 6은 C교량의 현장 데이터 [안전성=0.903;소음=0.51;지체=0.21;휘도=1.00] 입력시 C교량의 서비스수준 91.0점을 얻을 수 있었으며, Table. 6과 같이 C-D-E-B-A 교량 순으로 89.7~91.0의 서비스수준 결과를 얻을 수 있었다. 이와 같이 서비스수준 평가 결과를 이용하여 유지관리 대상의 선정과 관련된 예산투입 우선순위의 평가 등을 수행하는데 있어서 보다 합리적인 판단이 가능하다. 또한, 서비스수준 평가 결과 안전성과 차량지체에 따라 많은 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

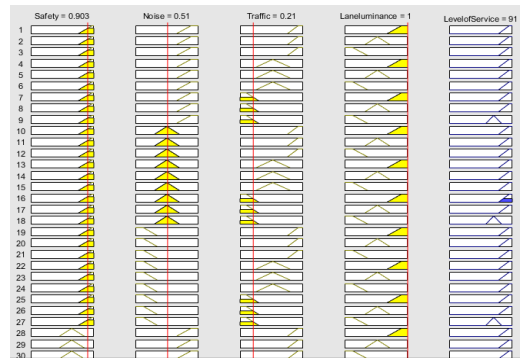


Fig. 6. C Bridge Level of service



이와 같은 분석을 통해 고객가치 및 정책목표의 교량별 서비스 수준 목표를 설정하고 교량별 서비스 수준 평가 결과에 따른 성능척도별 필요한 조치 및 대상을 결정할 수 있는 의사결정에 활용 될 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결론 및 향후 과제

본 연구는 교량 자산관리체계 도입에 있어서 교량 서비스 수준 산정을 위한 기초연구로써 퍼지이론을 이용하여 교량 서비스 수준을 평가하는 방법론을 제시하였으며 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 안전성, 교량 주위의 소음, 차량지체, 차선회도에 대한 인간의 애매한 표현을 수량화하는 기법인 퍼지근사추론을 이용하여 서비스 수준을 평가할 수 있는 퍼지근사추론 모형을 구축하였다.
2. 구축된 모형을 실제 공용중인 교량에 대한 적용성을 확인하기 위해 교량 5개를 대상으로 교량별 서비스 만족도를 평가하였다. 서비스 만족도 평가 결과 C-D-E-B-A 교량 순으로 결과 값은 도출되었으며, 89.7부터 91.0까지 서비스 수준 평가 결과 값을 얻었다.
3. 서비스 수준 만족도를 결정하는데 소음과 차선회도 보다 안전성, 차량지체에 대해 많은 영향을 받는 것으로 평가되었다.

본 연구에서 제시된 교량 서비스 수준 평가 방법인 퍼지근사추론 모형을 통해 자산관리체계에서의 서비스 수준을 평가 할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있으며, 서비스 수준 평가 결과에 따른 예산 수립 및 분배와 관련한 자산관리에 있어서 합리적인 의사결정, 효율성 등을 평가하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 하지만, 교량 서비스 수준 평가 모형은 교량 서비스 수준 평가 항목별 가중치, 많은 변수들을 고려하지 못하는 한계가 있었다. 이에 향후 연구로 서비스 수준 항목간의 중요도를 고려한 도로포장상태, 시설물 설치기준 등 다양한 서비스 수준 평가 항목 들을 고려하여 더 정확한 모형 개발이 요구된다.

## References

- [1] Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2015.
- [2] D. H. Lee, J. W. Kim, T. H. Jun, W. S. Jeong and K. T. Park, "Development of Performance Prediction Method for Bridge and Tunnel Management Decision-making", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.20, No.1, pp.30-40, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.11112/jksmi.2016.20.1.033>
- [3] B. W. Jo, H. Kim, Y. S. Lee and D. K. Kim, "Development of Real Time Smart Structure Monitoring System for Bridge Safety Maintenance using Sensor Network", Journal of the Korea Contents Association, Vol.16, No.2, pp.221-230, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.5392/JKCA.2016.16.02.221>
- [4] H. H. Choi, J. W. Sun and K. H. Park, "A study on Risk-based Bridge Performance Evaluation Method for Asset Management", Korea Journal of Construction Engineering and Management, Vol.14 No.3, pp.22-32, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.6106/kjCEM.2013.14.3.022>
- [5] M. J. Chae, G. Lee, J. R. Kim and M. Y. Cho, "Analysis of Domestic and International Infrastructure Asset Management Practices and Improvement Strategy", Korea Journal of Construction Engineering and Management, Vol.10, No.2, pp.55-64, 2009.
- [6] NCHRP REPORT 677, 2010.
- [7] K. H. Park, J. W. Sun, C. W. Park and M. J. Lee, "Infrastructure Asset Management Methodology Application to Bridge Management" Journal of the Korea Society of Civil Engineers, Vol.29 No.6D, pp.727-736, 2009.
- [8] G. H. Kim, D. J. Kim, J. K. Lim, M. Y. Park and M. J. Lee, "Basic Study on Bridge Asset Management Framework and LOS for Efficient Downtown Bridge Maintenance", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.17, No.5, pp.671-679, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.5.671>
- [9] International Infrastructure Management Manual, INGENIUM 2006.
- [10] M. J. Chae and W. G. Yun, "Introduction to Infrastructure Asset Management", goomibook, 2014.
- [11] S. Y. Jeong, H. S. Nah and W. S. Choi, "Assessment Items for the Level of Service for Tunnel Facilities from an Asset", Journal of the Korea Contents Association, Vol.12, No.1, pp.68-79, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.5392/JKCA.2012.12.01.068>
- [12] K. C. Lee, Fuzzy theory, kyungmoonbook, 2004
- [13] J. W. Yu, H. S. Lee, Y. S. Jeong and S. S. Kim, "Measuring System for Impact Point of Arrow using Mamdani Fuzzy Inference System", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol.22, No.4, pp.521-526, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.5391/JKIIS.2012.22.4.521>
- [14] J. W. Sun, K. H. Park, M. J. Lee and C. W. Park, "A Study on Development of Performance Measures for Level of Service(LOS) of Bridge Asset Management", Korea Journal of Construction Engineering and

Management, Vol.12, No.2, pp.101-110, 2011.  
 DOI: <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2011.12.2.101>

- [15] Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (KISTEC), Detailed guidance of safety inspection and in-depth safety inspection in Korea (in Korean), 2012.
- [16] K. Y. Lee, K. C. Choi, B. S. Son, H. G. Kim and S. B. Lee, "Development of Consistency Service Index for Deciding Habitual Congestion Section", International Journal of Highway Engineering, Vol.15, No.5, pp.227-234, 2013.  
 DOI: <https://doi.org/10.7855/IJHE.2013.15.5.227>
- [17] Korean National Police Agency, Traffic Signal Setting & Management Manual, 2012.
- [18] Seoul Metropolitan Government, Seoul Transport Operation and Information Service, 2015.
- [19] Seoul Metropolitan Government, Seoul Vehicle Travel Speed Report, 2015.

**조 병 완(Byung-Wan Jo) [정회원]**



- 1979년 2월 : 한양대학교 토목공학과 (공학사)
- 1985년 4월 : Ohio. University 토목공학과 (공학석사)
- 1988년 6월 : University of Florida 토목공학과 (공학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 건설환경공학과 교수

<관심분야>  
 ICT기반콘텐츠, 시설물 유지관리, ICT기반재난관리콘텐츠

**김 현(Heon Kim) [정회원]**



- 2009년 2월 : 한양대학교 건설환경공학과 (공학석사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 건설환경공학과 박사과정

<관심분야>  
 ICT기반콘텐츠, 시설물 자산관리, 건설관리

**김 장 옥(Jang-Wook Kim) [정회원]**



- 1992년 12월 : Ohio State University 기계과 (공학사)
- 1994년 8월 : Ohio State University 기계과(공학석사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 건설환경공학과 박사과정

<관심분야>  
 ICT기반콘텐츠, 시설물 유지관리, 사물인터넷

**지 세 영(Se-Young Chi) [정회원]**



- 2012년 8월 : 건국대학교 정보통신대학원 정보통신학과 (공학석사)
- 2014년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 건설환경공학과 박사과정

<관심분야>  
 4차산업혁명, 사물인터넷, 정보통신