

불확실한 매체를 갖는 기둥 좌굴하중의 애매성

Fuzziness for Buckling Loads of Columns with Uncertain Mediums

이 병 구*, 오 상 진**
Byoung Koo Lee*, Sang Jin Oh**

요 약

본 논문은 퍼지이론을 이용한 고전적인 역학문제의 확장에 관한 연구이다. 자중 및 휨강성 등 불확실한 매체를 갖는 기둥의 좌굴하중을 지배하는 미분방정식을 유도하였다. 수치해석예에서는 일단은 전형적인 자유, 회전, 고정단이고, 타단은 애매한 상수로 정의되는 회전스프링으로 지지된 기둥을 택하였다. 퍼지함수의 연산을 위하여 vertex method를 이용하였으며, 지배미분방정식의 수치적분과 좌굴하중 결정을 위해 Runge-Kutta method와 행렬값탐사법을 각각 이용하였다. 좌굴하중의 소속함수를 산출하였으며, 애매성의 흐름을 정량적으로 판단하기 위하여 퍼지지수를 정의하였다. 지배인자의 애매성 변화에 따른 좌굴하중의 퍼지지수 변화를 분석하였으며, 단부 조건에 따른 감도를 고찰하였다.

ABSTRACT

In this paper the fuzzy extension for the classical engineering mechanics problems is studied. The governing differential equation is derived for the buckling loads of the columns with uncertain mediums: the their own weight and the flexural rigidity. The columns with one typical end constraint(hinged/clamped/free) and the other finite rotational spring with fuzzy constant are considered in numerical examples. The vertex method is used to evaluate the fuzzy functions. The Runge-Kutta method and Determinant Search method are used to solve the differential equation and determine the buckling loads, respectively. The membership functions of the buckling load are calculated. The index of fuzziness to quantitatively describe the propagation of fuzziness is defined. According to the fuzziness of governing factors, the variation of index of fuzziness for buckling load is investigated, and the sensitivity for the end constraints is analyzed.

I. 서 론

구조물의 실제거동을 정확히 수학적으로 모형화하는 것은 매우 어렵고 복잡하다. 이와 같은 구조물의 거동해석은 문제를 단순화시키므로써 거동결과를 어느 정도 예측할 수 있을 정도의 간단한 문제로 모형화하여 그 문제를

*원광대학교 토목공학과 교수

**원광대학교 대학원 박사과정

해결한다. 그러나 문제를 단순화하는 과정에서 필연적으로 문제에 관련된 정보손실(information loss)이 발생되기 마련이다. 이러한 정보손실로 인하여 단순화된 문제를 해석하는데 필요한 입력데이터들은 어느정도 불확실성을 갖게 되며, 이러한 불확실한 입력데이터들에 의한 해석 결과들 역시 불확실성과 애매성을 갖게 된다.

이러한 불확실성과 애매성의 원인은 모형화과정에서 단순화 작업에 의한 것 이외에도 어떠한 현상에서의 각종 data의 추계과정, 물리량의 정의, 전문가들의 현상에 대한 지식의 인지영역 등에 의하여 기인될 수 있다.

어떠한 현상을 설명해 주는 수학적모형에 내재된 애매성을 정량화하여 표현할 수 있는 방법으로 Zadeh^[1]에 의해 퍼지집합론이 제안되어졌다. Zadeh는 퍼지집합론을 이용하는 경우 시스템의 복잡성을 감소시키고 시스템에 대한 정확하고 분명한 판단을 내릴 수 있다고 주장하였다. 이후 1980년대에 접어들면서 토목공학에서 퍼지이론 적용에 관한 많은 연구^[2-4]가 이루어져 왔으며, 국내에서도 이와 관련된 논문^[5-8]들이 발표되고 있다.

본 연구에서는 퍼지이론을 이용하여 고전적인 기동 좌굴문제에서 입력데이터들에 존재하는 애매성을 퍼지양으로 정량화하여 해석하고 입력데이터의 애매성변화에 따른 기동 좌굴하중의 애매성 흐름을 정량적으로 나타내므로서 여유있고 유용한 역학적 정보를 얻고자 하는데 연구목적이 있다.

II. 수학적 모형

비교적 면적이 작은 기초를 갖는 기동이 연약지반상에 놓인 경우 이는 하단이 회전스프링으로 지지된 기동문제 로 모형화하여 해석할 수 있다. 이러한 경우 회전스프링상수는 기초의 크기, 시험자료에 의한 지반상태의 평가 등에 따라 결정할 수 있지만, 시료채취, 시험방법, 시험자의 경험 등에 따라 시험자료에는 어느정도 애매성이 있어 이를 이용한 지반상태 등의 평가에는 필연적으로 애매성이 존재하게 된다. 특히 지반상태에 대한 평가가 “느슨한 상태”, “중간정도”, “다져진 상태” 등과 같이 언어적으로 표현되는 경우^[9] 이로부터 언어지는 회전스프링상수는 애매성과 불확실성을 갖게 된다. 이와 같이 애매성을 갖는 경우 이를 퍼지양으로 표현하므로서 정량화할 수 있으며, 이를 퍼지집합으로 표현하면 다음과 같다.

$$\tilde{S} \equiv \{\alpha(S), S\} \tag{1}$$

(1)식에서 \tilde{S} 는 회전스프링상수의 퍼지집합을 나타내며, α 는 퍼지집합 \tilde{S} 에서 S의 소속정도를 나타낸다.

기동의 단위길이당 중량 및 휨강성 역시 애매성을 가지고 있다면 다음과 같이 퍼지집합의 형태로 나타낼 수 있다.

$$\tilde{Q} \equiv \{\alpha(Q)/Q\} \tag{2}$$

$$EI \sim \equiv \{\alpha(EI)/EI\} \tag{3}$$

(2)식과 (3)식에서 \tilde{Q} 및 $EI \sim$ 는 각각 단위길이당 중량 및 휨강성의 퍼지집합을 나타내며, α 는 각각 퍼지집합 \tilde{Q} , $EI \sim$ 에서 Q 및 EI의 소속정도를 나타낸다.

그림 1은 불확실한 매체를 갖는 기동 및 좌굴형상을 나타낸 것으로 단위길이당 중량, 휨강성 및 기동하단 회전스프링상수의 애매성으로 축하중의 작용에 따른 기동축상 임의점 x에서의 횡방향변위, 그리고 모멘트반력성분 및 수평반력은 애매한 값을 갖게 된다. 또한 기동축상 임의점에서의 휨모멘트 역시 다음 식으로 표현되는 애매한 값을 갖게 된다.

$$\tilde{M}_x = P \cdot \tilde{w} + \tilde{R} \cdot x - \tilde{M}_r + \int_0^x \tilde{Q}(x-\tilde{y}) dz \tag{4}$$

모멘트-곡률관계식을 이용하면 다음 식과 같이 퍼지 지배미분방정식을 유도할 수 있다^[10].

$$\frac{d^4 \tilde{w}}{dx^4} = -\frac{P + \tilde{Q}_x}{EI \sim} \frac{d^2 \tilde{w}}{dx^2} - \frac{\tilde{Q}}{EI \sim} \frac{d \tilde{w}}{dx} \tag{5}$$

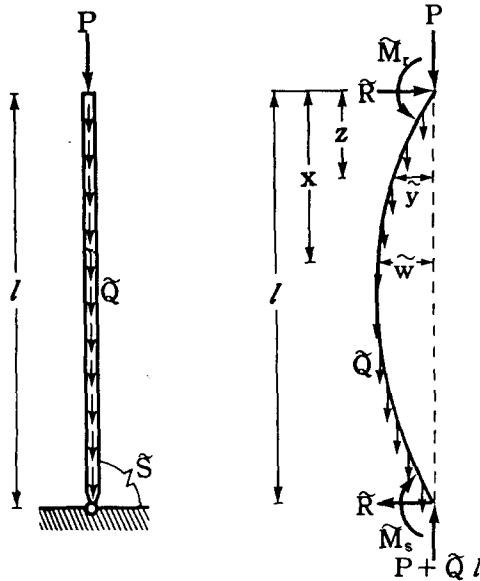


그림 1. 불확실한 매체를 갖는 기둥의 좌굴

기둥상단이 회전단 또는 고정단인 경우 본래의 구조적인 지점기능을 발휘한다고 하면 이에 대한 경계조건식은 다음과 같다. 먼저 회전단인 경우 횡방향변위 및 휨모멘트가 "0"이므로 경계조건식은 다음과 같다.

$$w=0, x=0 \text{에서} \tag{6}$$

$$d^2w/dx^2=0, x=0 \text{에서} \tag{7}$$

고정단인 경우에는 횡방향변위 및 단면회전각이 "0"이므로 다음과 같이 경계조건식이 유도된다.

$$w=0, x=0 \text{에서} \tag{8}$$

$$dw/dx=0, x=0 \text{에서} \tag{9}$$

자유단인 경우에는 휨모멘트 및 전단력이 "0"이지만, 횡방향변위가 애매한 값을 갖게 되므로 경계조건식은 다음과 같다.

$$d^2\tilde{w}/dx^2=0, x=0 \text{에서} \tag{10}$$

$$d^3\tilde{w}/dx^3+P \cdot d\tilde{w}/dx=0, x=0 \text{에서} \tag{11}$$

기둥하단은 회전스프링으로 구속되어 있으므로 횡방향변위는 "0"이며, 휨모멘트 $-S \cdot dw/dx$ 이므로 다음과 같이 경계조건식을 유도할 수 있다.

$$w=0, x=l \text{에서} \tag{12}$$

$$d^2\tilde{w}/dx^2+\tilde{S} \cdot d\tilde{w}/dx=0, x=l \text{에서} \tag{13}$$

(5)식의 미분방정식에 이상의 단부조건을 적용하고, α -수준집합사이의 확장원리(extension principle)^[11]를 이

용하여 해석하면 (14)식의 좌굴하중 P_{cr} 로 이루어지는 해집합(퍼지집합)을 얻을 수 있으며, 해집합에 포함된 각각의 해석결과들의 소속정도는 (15)식과 같다.

$$\tilde{P}_{cr} \equiv \{ \alpha(P_{cr}) / P_{cr} \} \quad (14)$$

$$\alpha(P_{cr}) = \text{Max}_{S, Q, EI} \text{Min} [\alpha(S), \alpha(Q), \alpha(EI)] \quad (15)$$

III. 수치해석방법

본 연구에서는 퍼지변수를 갖는 함수의 연산방법 중 일정한격별로 연산을 수행하는 데 효율적이고 해집합의 확장을 방지할 수 있는 vertex method^[12]를 이용하였으며, 이의 개략적인 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) 퍼지변수의 갯수를 입력한다.
 - 2) 계산하고자 하는 소속정도 α 를 입력한다. (본 논문에서는 $\Delta\alpha=0.1$ 로 하여 $\alpha=0., 0.1, 0.2, \dots, 1.0$ 에 대하여 해석하였다.)
 - 3) 소속정도 α 에 대응되는 퍼지변수의 최대 및 최소값을 결정한다.
 - 4) 퍼지변수의 최대 및 최소값을 입력데이터로 하는 해를 결정한다. 만일 퍼지변수의 수가 n개이면 각 변수별 최대, 최소값은 2개이므로 이들 퍼지변수들의 최대, 최소값의 조합으로 이루어지는 2^n 회의 연산을 수행한다. 따라서 해당 소속정도에 따른 해집합의 범위는 이들 연산결과 중 최대 및 최소값으로 이루어진다.
 - 5) 각 소속정도별로 3), 4)의 과정을 반복수행한다.
- 2), 3)과정에서 해당 소속정도에 대한 퍼지변수의 최대 및 최소값이 결정되면 입력데이터인 퍼지량은 해당 소속정도를 갖는 확정된 값(crisp value)으로 변환된다. 따라서 4)의 과정에서 해를 구하는 과정은 기존의 해석방법을 이용할 수 있으며, 본 연구에서는 문헌 [13]에 수록된 해석방법을 이용하였다.

IV. 수치적응용에 및 고찰

실제 수치적응용에서는 회전스프링상수가 400tf·m정도, 단위길이당 중량이 0.4tf/m정도, 휨강성이 200tf·m² 정도를 갖는 지간길이 $l=10m$ 인 기둥을 택하였다.

회전스프링상수는 100~700tf·m, 단위길이당 중량은 0.2~0.6tf/m, 휨강성은 170~240tf·m²으로서 각각 대집합의 범위를 정하였다. 한편 대집합의 범위내에서 각 변수들의 소속함수는 표 1에 수록된 식과 같이 정의하였으며, 그림 2~그림 4에 이들 관계를 도식적으로 나타내었다.

표 1. 소속함수의 정의

구 분	소 속 함 수	내용
S(tf·m)	$\alpha(S) = 0.5 + 0.5 \sin \left\{ \frac{\pi}{S_1} \left[S - S_m + \frac{S_{mr} + S_1}{2} \right] \right\}$, if $[S_m - (S_1 + S_{mr}/2)] \leq S \leq (S_m - S_{mr}/2)$	$S_m = 400$
	$\alpha(S) = 1$, if $(S_m - S_{mr}/2) \leq S \leq (S_m + S_{mr}/2)$	$S_1 = 250$
	$\alpha(S) = 0.5 - 0.5 \sin \left\{ \frac{\pi}{S_r} \left[S - S_m - \frac{S_{mr} + S_r}{2} \right] \right\}$, if $(S_m + S_{mr}/2) \leq S \leq (S_m + (S_r + S_{mr}/2))$	$S_r = 250$ $S_{mr} = 100$
Q(tf/m)	$\alpha(Q) = 1 - \left(\frac{Q_m - Q}{Q_1} \right)^{b_1}$, if $(Q_m - Q_1) \leq Q \leq Q_m$	$Q_m = 0.4$ $Q_1 = 0.2$
	$\alpha(Q) = 1 - \left(\frac{Q - Q_m}{Q_r} \right)^{b_1}$, if $Q_m \leq Q \leq (Q_m + Q_r)$	$Q_r = 0.2$ $b_1 = 1$

EI (tf·m ²)	$\alpha(EI) = 1 - \left(\frac{EI_m - EI}{EI_1} \right)^{b_2}$, if $(EI_m - EI_1) \leq EI \leq EI_m$	$EI_m = 200.$ $EI_1 = 30.$ $EI_r = 40.$ $b_2 = 0.5$
	$\alpha(EI) = 1 - \left(\frac{EI - EI_m}{EI_r} \right)^{b_2}$, if $EI_m \leq EI \leq (EI_m + EI_r)$	

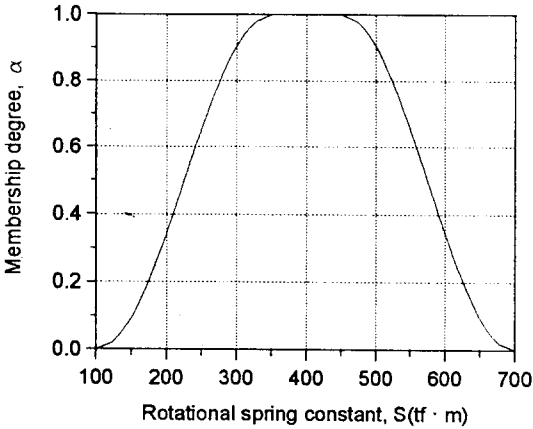


그림 2. 회전스프링상수의 소속함수

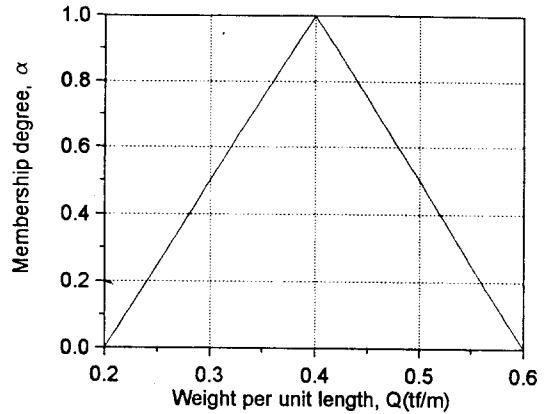


그림 3. 단위길이당 중량의 소속함수

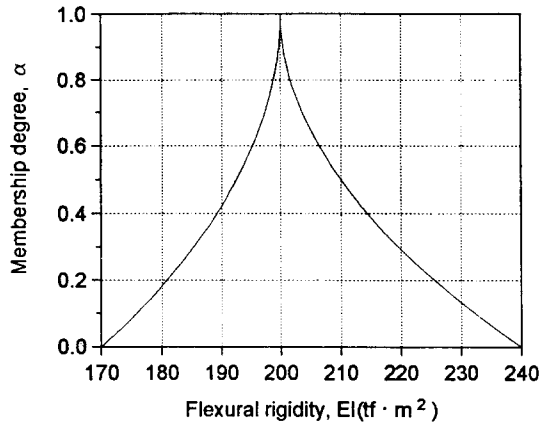


그림 4. 휨강성의 소속함수

그림 5~그림 7은 기둥상단이 각각 회전, 고정, 자유단이고, 기둥하단은 회전스프링으로 지지된 기둥 좌굴하중의 소속함수를 나타낸 것으로 이 그림들은 변수들의 퍼지화에 따른 해집합의 퍼지정도흐름을 도식적으로 나타내고 있다. 내측 첫번째 경계는 회전스프링상수만 퍼지양, 두번째 경계는 회전스프링상수 및 단위길이당 중량이 퍼지양, 세번째 경계는 회전스프링상수, 단위길이당 중량 및 휨강성이 퍼지양인 경우에 대한 해석결과이다. 이들 해석결과에서 각 변수들의 소속정도가 "1"일때의 결과는 모두 문헌 [14]의 결과와 일치하며, 이로부터 퍼지이론을

적용한 결과가 보통집합론에 의한 해석결과를 포함하고 있음을 알 수 있다.

그림 5~그림 7에서 입력데이터의 퍼지화가 확장됨에 따라 해석결과와 변동폭이 큼을 알 수 있다. 이는 입력데이터의 퍼지화 수가 증가함에 따라 애매성이 커짐을 의미하며 이러한 결과는 추후 애매성을 정량적으로 나타내기 위하여 정의되어지는 퍼지지수(index of fuzziness)에 의해 정량적으로 비교할 수 있다.

그림 7의 기둥상단부가 자유단인 경우 단위길이당 중량이 퍼지양으로 정의되는 경우 그림 5 및 그림 6의 회전단, 고정단인 경우에 비해 변동폭이 더 큼을 알 수 있다. 이는 기둥상단부가 자유단인 경우 단위길이당 중량의 애매성이 회전단 또는 고정단인 경우보다 좌굴하중 애매성에 더 크게 기여함을 의미한다.

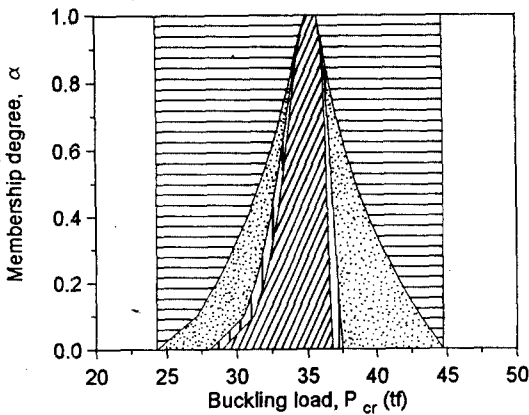


그림 5. 좌굴하중의 퍼지정도흐름(상단부: 회전단)

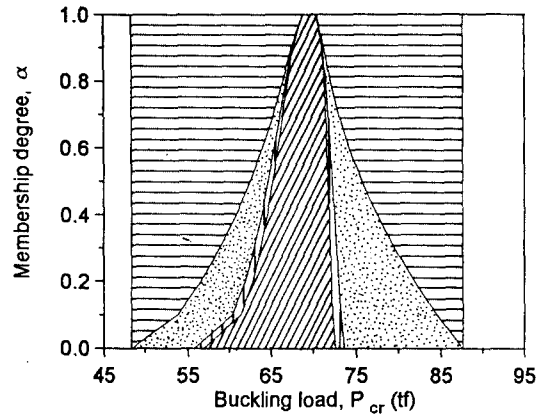


그림 6. 좌굴하중의 퍼지정도흐름(상단부: 고정단)

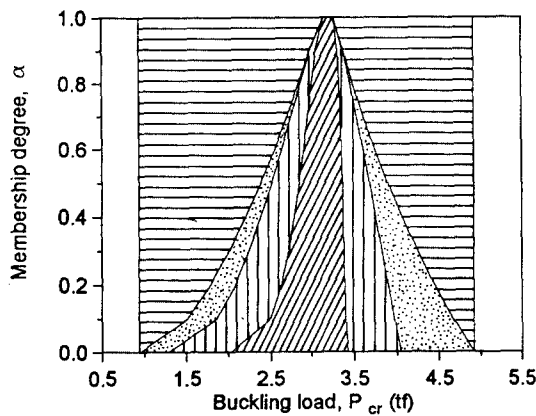


그림 7. 좌굴하중의 퍼지정도흐름(상단부: 자유단)

본 연구에서는 퍼지정도의 흐름을 정량적으로 나타내기 위하여 entropy를 이용한 퍼지정도측도(measure of fuzziness)^[15] 개념을 도입하였으며, 다음 식과 같이 정규화한 퍼지정도를 나타내는 퍼지지수를 산출하였다.

$$\text{퍼지지수(I.F)} = \frac{d(\tilde{A})}{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{H_i[\alpha(a_i) + \alpha(a_{i+1})]}{2}}{Y} \quad (16)$$

윗 식에서 $d(\tilde{A})$ 는 퍼지집합 \tilde{A} 의 퍼지정도측도로서의 entropy이며, Y는 대집합의 최대간격을 의미하고, H_i 는 소속정도의 등간격분할에 대응되는 퍼지변수 a의 변화간격을 나타낸다. 결국 (16)식은 변수들의 퍼지화에 따른 퍼지집합의 소속함수를 나타내는 곡선이 이루는 면적과 대집합의 최대간격을 이루는 면적의 비를 의미한다.

표 2는 각 변수들의 퍼지화에 따른 단부조건별 좌굴하중의 퍼지지수를 나타낸 것으로 입력변수의 퍼지화 수가 늘어날 수록 퍼지지수가 커짐을 알 수 있다. 이는 진술한 바와 같이 변수들의 퍼지화 수가 늘어남에 따라 더 많은 애매인자가 포함되기 때문이다.

표 2. 단부조건 및 변수의 퍼지화에 따른 퍼지지수 변화

상단부 조 건	변수의 퍼지화에 따른 퍼지지수		
	S	S, Q	S, Q, EI
회전단	0.169	0.206	0.392
고정단	0.177	0.205	0.393
자유단	0.141	0.306	0.417

그림 8~그림 10은 퍼지양의 정량화에 있어 기술자의 주관에 따라 변할 수 있는 퍼지변수의 소속함수 형태를 나타낸 것이다. 이는 객관적으로 퍼지양에 대한 대함수 범위가 일정한 경우 기술자의 주관에 따라 퍼지변수의 소속함수 형태가 변화하는 경우 해석결과의 애매성을 고찰하기 위한 것이다.

표 3은 퍼지변수의 소속함수 형태가 그림 8~그림 10과 같이 변화하는 경우 회전스프링상수, 단위길이당 중량 및 휨강성의 애매정도 흐름을 나타내는 entropy 및 퍼지지수를 산출하여 정리한 것이다. 여기서 회전스프링상수는 소속함수 형태는 다르지만 각각의 소속함수에 대한 entropy 및 퍼지지수는 동일하고, 단위길이당 중량 및 휨강성은 b_1, b_2 가 커짐에 따라 entropy 및 퍼지지수는 커진다. 그러나, b_1 과 b_2 가 동일한 경우 즉 퍼지변수의 소속함수 형태가 동일한 경우 단위길이당 중량과 휨강성에 대한 entropy는 다르지만 퍼지지수는 같다.

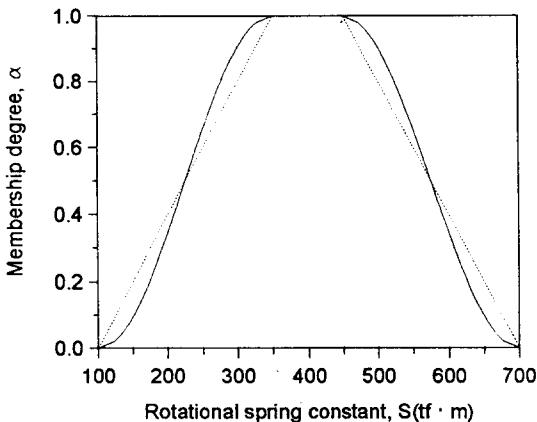


그림 8. 회전스프링상수의 소속함수 형태

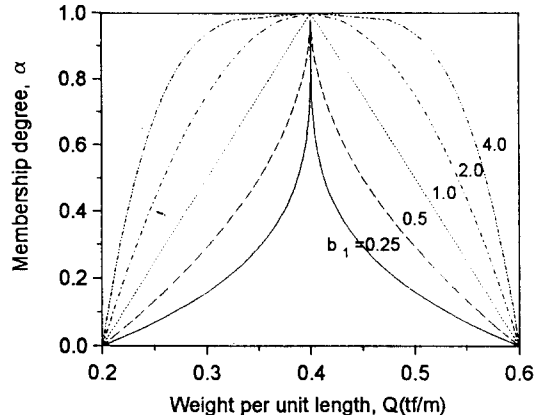


그림 9. 단위길이당 중량의 소속함수 형태

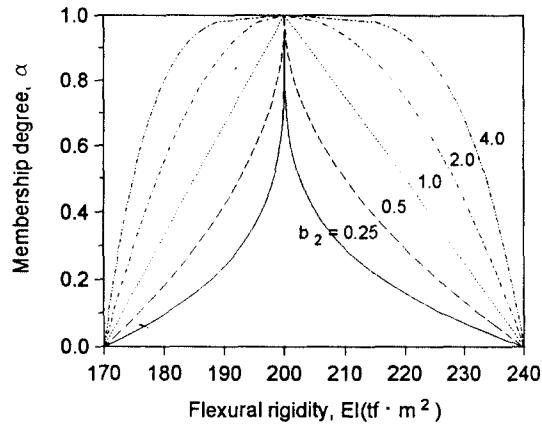


그림 10. 휨강성의 소속함수 형태

표 3. 입력변수의 entropy 미 퍼지 지수

구 분		entropy, $d(\tilde{A})$	퍼지 지수, I.F	
회전스프링상수, S	sinusoidal	350.	0.583	
	trapezoidal	350.	0.583	
단위길이당 중량, Q	b_1	0.25	0.0813	0.203
		0.50	0.134	0.335
		1.00	0.200	0.500
		2.00	0.264	0.661
		4.00	0.313	0.783
휨강성, EI	b_2	0.25	14.2	0.203
		0.50	23.5	0.335
		1.00	35.0	0.500
		2.00	46.2	0.661
		4.00	54.8	0.783

그림 11 (a), (b)는 기동상단부가 회전단이고, 기동하단 회전스프링상수의 소속함수가 각각 정현함수 및 사다리꼴함수 형태인 경우 단위길이당 중량($b_1=0.25, 0.5, 1., 2., 4.$), 휨강성($b_2=0.25, 0.5, 1., 2., 4.$)의 조합으로 이루어지는 50개의 조건에 대한 퍼지 지수를 나타낸 것이다. 그림에서 b_1 이 커짐에 따라 즉 단위길이당 중량의 애매성 확대에 따른 좌굴하중의 퍼지 지수는 낮은 증가율을 보이지만, b_2 가 커지는 경우 즉 휨강성의 애매성 확대에 따른 좌굴하중의 퍼지 지수는 증가율이 매우 큼을 알 수 있다. 또한 회전스프링상수에 대한 애매정도를 나타내는 퍼지 지수가 동일하며 소속함수 형태가 각기 정현함수와 사다리꼴함수로 정의되는 경우 해석결과의 퍼지 지수 변화는 작음을 알 수 있다. 그러나 해석결과 전반에 걸쳐 나머지 조건이 동일한 경우 사다리꼴함수로 정의되는 경우가 정현함수로 정의되는 경우에 비해 해석결과의 퍼지 지수가 큼을 알 수 있었으며, 이러한 경향은 기동상단부가 자유단 및 고정단인 경우에도 동일한 경향을 보임을 알 수 있었다.

그림 12는 회전스프링상수의 소속함수 형태는 정현함수이고, b_1 과 b_2 가 동일한 값을 가지며 증가하는 경우 좌

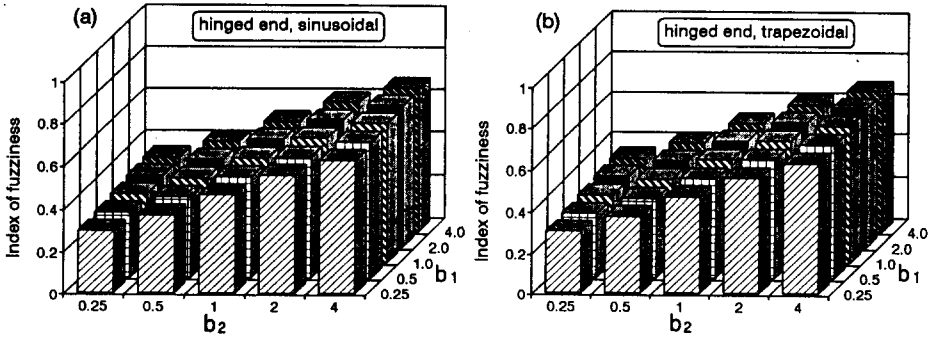


그림 11. 퍼지지수 변화

굴하중의 퍼지지수 변화를 나타낸 것이다. 앞에서 고찰한 바와 같이 b_1 , b_2 가 증가하는 경우 퍼지지수는 증가함을 알 수 있으며, b_1 과 b_2 가 동일한 값을 가지며 증가하는 경우 즉 각각의 대집합 영역은 다르지만 동일한 소속함수 형태를 갖는 경우 단부조건에 따른 퍼지지수는 거의 동일함을 알 수 있다.

그림 13은 회전스프링상수의 소속함수 형태는 정현함수이고, $b_2 = 1.0$ 인 경우 b_1 의 변화에 따른 퍼지지수 변화를 나타낸 것으로 b_1 이 커짐에 따라 퍼지지수는 증가함을 알 수 있다. 또한 그림 5~그림 7에서 고찰한 바와 같이 기동상단부가 자유단인 경우 회전 또는 고정단인 경우에 비해 b_1 의 증가에 따른 퍼지지수 변화가 큼을 알 수 있다. 한편 b_1 이 b_2 에 접근함에 따라 자유단인 경우와 회전 또는 고정단인 경우 퍼지지수는 근접하지만, b_1 과 b_2 의 차가 커짐에 따라 차이가 커짐을 알 수 있다.

그림 14는 회전스프링상수의 소속함수 형태는 정현함수, $b_1 = 1.0$ 인 경우 b_2 의 변화에 따른 퍼지지수 변화를 나타낸 것으로 전술한 바와 같이 그림 13의 b_1 변화에 따른 애매성의 변화보다 그 변화율이 더 큼을 알 수 있다.

일반적으로 기동설계는 기동의 단부조건에 따른 좌굴하중을 산정하고 이와 설계하중(factored load) 사이에 안전률을 적용하여 좌굴에 대한 안정성을 확보하게 되며^[16], 특별히 단부조건에 따른 안전률 적용은 이루어지지

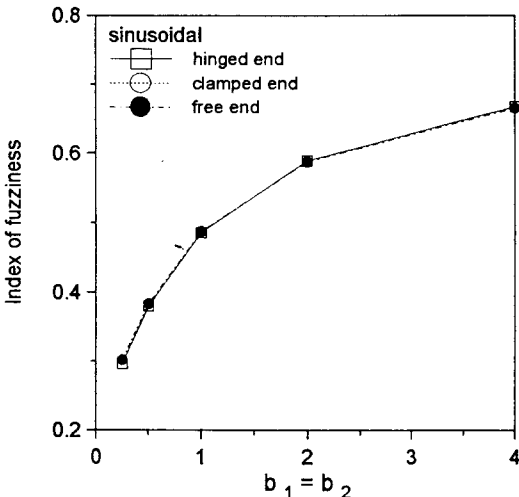


그림 12. 동일한 소속함수를 갖는 경우 ($b = b_2$) 퍼지지수 변화

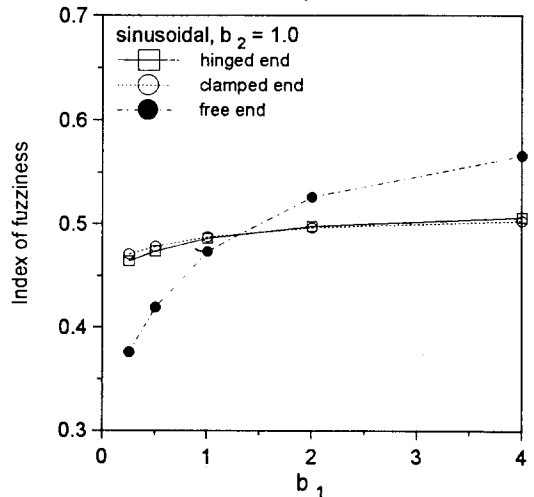


그림 13. b_1 에 따른 퍼지지수 변화

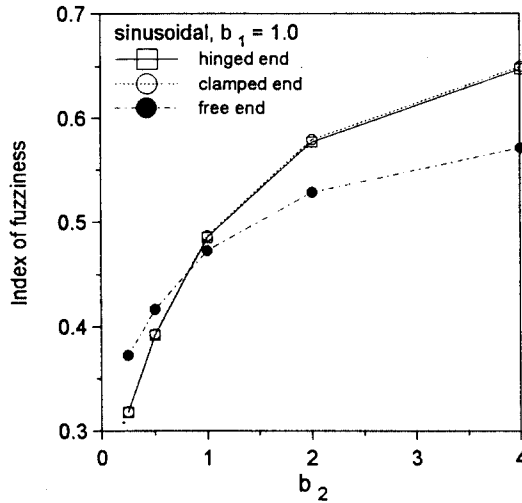


그림 14. b_2 에 따른 퍼지지수 변화

않는다. 이는 그림 12에 보여진 바와 같이 각 단부조건에 따른 기동좌굴하중의 애매성이 유사한 경우 즉 기술자의 판단으로 대상기동의 좌굴하중을 지배하는 인자들에 대한 소속함수의 형태를 동일하게 취급할 수 있는 경우에는 타당할 것으로 사료된다. 그러나 그림 13과 그림 14에 나타난 바와 같이 좌굴을 지배하는 인자들의 소속함수 형태가 다른 경우 단부조건에 따라 좌굴하중의 애매성이 크게 다르다는 점을 고려한다면 실제 기동좌굴에 대한 안전성 확보시 이를 고려한 안전률 적용이 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 논문은 불확실한 매체를 갖는 기동 좌굴하중의 애매성에 관한 연구로서 퍼지이론을 이용하여 고전적인 기동의 좌굴문제에서 퍼지양을 포함할 수 있도록 고전적인 해의 확장을 시도한 논문이다. 본 논문에서는 기동 좌굴하중의 지배인자인 회전스프링상수, 단위길이당 중량 및 휨강성을 퍼지양으로 표현하였으며, 이들 퍼지양을 갖는 기동 좌굴하중을 지배하는 미분방정식을 유도하였다. 불확실한 매체를 갖는 기동의 좌굴하중에 대한 소속함수를 산출하였으며, 애매정도의 흐름을 정량적으로 표현하기 위하여 퍼지지수를 결정하였다. 또한 퍼지변수의 수 및 단부조건에 따른 해석결과의 감도를 분석하였으며, 퍼지양의 정량화에 있어 기술자의 주관에 따라 변할 수 있는 퍼지함수의 형태변화에 따른 해석결과의 퍼지지수 변화를 고찰하였다.

본 논문에서 기동의 불확실성 흐름을 정량적으로 나타내기 위하여 정의한 퍼지지수는 설계자에 의하여 최대애매정도의 영역내에 있는 변수들에 대하여 적절한 안전률을 결정하는데 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

“이 논문은 1995년도 원광대학교 교내 연구비 지원에 의하여 연구된 논문으로 연구비를 지원해준 대학당국에 감사드립니다.”

참 고 문 헌

1. L. A. Zadeh, Fuzzy Set, Information Control, Vol. 8, No. 1, pp. 338-353, 1965.

2. C. B. Brown, "A Fuzzy Safety Measure", Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 105, No. 5, pp. 855-872, 1979.
3. J. T. P. Yao, "Damage Assessment of Existing Structures", Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 106, No. 4, pp. 785-799, 1980.
4. T. L. Murlidharan, "Fuzzy Behavior of Beams on Winkler Foundation", Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 117, No. 9, pp. 1953-1972, 1991.
5. 변근주, 최홍식, 유동우, 이승열, "Fuzzy 집합론을 이용한 철근콘크리트보의 최적설계", 대한토목학회 학술발표대회 논문집, pp. 149-154, 1991.
6. 이원환, 조원철, 심재현, "퍼지제어기법을 사용한 우수배제 펌프의 조작기법 개발", 대한토목학회 논문집, 제12권, 제3호, pp. 107-114, 1992.
7. 김광우, 박제선, 이성남, "PC에서 퍼지셀을 이용한 아스팔트 포장의 기능수행 가능성 추정", 대한토목학회 논문집, 제13권 제5호, pp. 123-134, 1993.
8. 이병구, 정진섭, 이문수, 오상진, "3차이론에 의한 강널말뚝의 퍼지거동 해석", 한국강조학회 논문집, 제6권 제1호, pp. 103-112, 1994.
9. J. E. Bowles, Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill, 1977.
10. S. P. Timoshenko and J. M. Gere, Theory of Elastic Stability, McGraw-Hill, 1961.
11. H. J. Zimmermann, Fuzzy Set Theory and Its Application, Kluwer Academic, 1991.
12. W. Dong and H. C. Shah, "Vertex Method for Computing Functions of Fuzzy Variable, Fuzzy Sets and System", Vol. 24, No. 1, pp. 65-78, 1987.
13. B. K. Lee and J. F. Wilson, "Free Vibrations of Arches with Variable Curvature", Journal of Sound and Vibration, Vol. 136, No. 1, pp. 75-89, 1990.
14. 이병구, 오상진, 모정만, 김현상, "자중을 고려한 연약지지점을 갖는 기둥의 안정해석", 원광대학교 환경건설연구소 논문집, 제2권, pp. 1-12, 1993.
15. A. Kandel, Fuzzy Mathematical Techniques with Applications, Addison Wesley, 1987.
16. S. P. Timoshenko and J. M. Gere, Mechanics of Materials, 2nd Edition, Brooks/Cole Engineering, 1984.