

판형사교 거더의 휨모멘트와 전단력에 대한 하중분배계수

Wheel Load Distribution Factor for Girder Moment and Shear Force of Skew Plate Girder Bridges

서 창 범* / 송 재 호**

Seo, Chang Bum / Song, Jae Ho

Abstract

The girder wheel load distribution factors stated in the Korean Bridge Specification and AASHTO Standard Specifications do not account for the effect of skewness of plate girders, and very little research has been conducted on girder wheel load distribution factors. The purpose of the study is to propose load distribution factor formulas for skew plate girder bridges which comprise various parameters through structural analysis. To confirm the validity of finite element models used in this study analytic values are compared with the field test results. From the results it should be noted that span length is not such a dominant parameter compared with others. In view of better load distribution of interior girders, skew arranged cross beams or bracing are preferable, furthermore bracing system is more effective than cross beam system. By means of regression analysis on the basis of analytic results wheel load distribution factor formulas are proposed and compared with current codes.

key words : Wheel load distribution factor, Skewness, Plate girder, Finite element analysis, Regression analysis, Wheel load distribution factor formulas

요 지

한국 도로교 설계기준과 AASHTO Standard 설계기준에 규정된 판형교의 유효하중분배계수는 사각의 영향을 고려하지 못하고 있으며, 이에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 검증된 유한요소해석모델을 이용, 다양한 변수를 고려한 구조해석을 통하여 강판형 사교에 대한 하중분배계수식의 제안을 목적으로 한다. 판형교의 유한요소모델은 현장실험과의 비교분석을 통해 선택되었으며, 이를 이용하여 강판형사교의 유한요소해석을 수행하였다. 연구결과 지간은 다른 변수들에 비해 유효하중분배계수에 미치는 영향이 작았고, 가로보와 브레이싱을 사교격자 구조로 설치할 경우 내측거더에서는 하중분배가 향상되며, 브레이싱 타입이 보다 유리한 것으로 밝혀졌다. 또한 해석결과를 바탕으로 회귀분석을 통해서 유효하중분배계수식을 제시하였고, 기존식과 비교검토하였다.

핵심용어 : 유효하중분배계수, 사각, 강판형, 유한요소해석, 회귀분석, 유효하중분배계수식

1. 서 론

판형교(plate girder bridge)는 철근콘크리트 슬래브와 이를 지지하는 여러개의 거더로 구성되어 있어서, 해석 및 설계가 간단하지 않으므로 하중분배계수를 사용하여 설계에 필요한 단면력의 계산을 간편화하는 것

이 일반적인 방법이다. 이를 위하여 선진 각국의 도로교 설계기준에는 유효하중분배계수 산정식을 제시하고 있다. AASHTO 및 AASHTO LRFD 설계기준과 OHBDC (Ontario Highway Bridge Design Code) 설계기준, 그리고 한국 도로교 설계기준 등의 그 대표적인 예이다.

* (주)시텍컨설팅 대표이사 (e-mail : cbsuh@emoden.com)

** 정회원 · 금오공과대학교 토목공학과 · 교수

AASHTO Standard 설계기준이 제시하는 하중분배 계수의 식은 단지 거더간격만을 변수로 하는 간단한 형태로 표현하고 있어서 간편히 적용할 수 있지만, 거더간격 이외의 다른 변수를 취하지 않았기 때문에 일반적으로 단지간의 교량은 불안전축의 설계가 될 수 있고 장지간의 교량에서는 과대설계가 되는 것으로 지적받아왔다. 또한 OHBDC 설계기준에서는 다양한 변수들을 고려하였지만, 많은 도표를 사용하는 복잡한 과정과 계산을 요한다. 그러나 AASHTO 및 OHBDC 설계기준은 사교의 하중분배를 별도로 고려하고 있지 않다. AASHTO LRFD 설계기준은 다양한 변수들을 고려하여 사용면에서도 유리하지만 하중분배계수식의 적용범위가 제약되어 범용적인 적용에 한계를 가지고 있다고 볼 수 있다. 또한 현행 한국 도로교설계기준에도 하중분배계수에 관한 조항을 두고 있으나 다양한 종류의 교량형태에 적용하기에는 미흡한 점이 있다.

사교의 유효하중 분배상태는 직교에 비해 상당히 다르며 이론해석 및 수치해석 등이 복잡하므로, 사교에서의 하중분배계수의 존재는 직교에서보다 더 중요하다 할 수 있다. 판형 사교의 하중분배계수와 관련한 국내의 연구로서 Imbsin (1978), Hays (1986), Bishara (1986) 등은 유한요소법을 이용한 하중분배계수의 산출을 시도하였고, Nutt (1988)은 plate model을 사용한 합성강교의 해석을 수행하였으며, Bakht (1988)는 격자해석과 급수해법을 적용하여 다양한 매개변수를 고려한 합리적인 과정을 제시하였다. 또한 Tarhini (1992)는 판형의 직교에 대한 유한요소해석결과를 회귀분석하여 하중분배계수 산출식을 도출하였고, Bishara (1993)는 판형의 직교와 사교에 적용할 수 있는 하중분배식을 제시하였다.

국내에서는 정철현 등(1997)의 슬래브 사교의 하중분배효과에 관한 연구가 있었을 뿐 사각을 갖는 형교의 하중분배에 관한 연구는 미약한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 유한요소법을 이용하여, 하중분배계수에 많은 영향을 미치는 거더간격, 지간, 슬래브 폭, 상관강비(거더의 휨강성/슬래브의 휨강성), 사각 등을 매개변수로 고려한 강판형 사교의 합리적인 하중분배계수를 산정할 수 있는 식을 제안하는 것을 연구 목적으로 한다. 또한 가로보의 유무 및 설치방법에 따른 하중분배계수의 영향도 분석하였다. 이를 위해서 여러 형태의 유한요소모델과 현장실험결과와의 비교검증을 통하여 최적의 유한요소모델을 선정하였고 이를 바탕으로 해석을 수행하였다. 또한 본 연구의 제안식과 기존 식과의 비교검토를 통해 본 제안식을 검증하였다.

2. 기존의 하중분배계수 기준 및 연구

2.1 도로교설계 기준

국내의 도로교설계기준(2000)에서는 거더교에서 거더모멘트를 결정하기 위한 하중분배계수 DF는 내측거더에 대해서 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} DF &= S/2.10 \quad (S \leq 3.0m, 1차선) \\ DF &= S/1.65 \quad (S \leq 4.2m, 2차선) \end{aligned} \quad (1)$$

외측거더에 대한 하중분배계수는 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} DF &= S/1.65 \quad (S \leq 1.8m) \\ DF &= S/(1.20+0.25S) \quad (1.8m < S \leq 4.2m) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 S는 거더간격을 뜻한다. 그러나 국내의 기준은 AASHTO기준과 단위만 다르며 실제적으로는 같은 식을 사용하고, 사교의 경우에 대한 기준도 별도로 마련되어 있지 못하며, 또한 전단력에 대한 하중분배계수의 기준도 역시 마련되어 있지 않다.

2.2 AASHTO Standard 기준

AASHTO 설계기준(2002)에서 제시하는 하중분배계수 DF의 기본형태는 식 (3)과 같이 거더간격(S)과 분배특성계수(D)의 항으로 구성되어 있으며, 판형교에서의 거더간격에 따른 내측거더 및 외측거더에서 거더모멘트를 구하기 위한 분배특성계수 값은 각각 식(4a), (4b), (4c)와 같고, 사교일 경우에 대한 규정은 별도로 없는 실정이다.

$$DF = \frac{S}{D} \quad (3)$$

내측거더에 대한 분배특성계수 ;

$$D=5.5 \quad S < 14 \text{ ft} \quad (4a)$$

외측거더에 대한 분배특성계수 ;

$$D=5.5 \quad S < 6 \text{ ft} \quad (4b)$$

$$D=4 + 0.25 S \quad 6 \text{ ft} < S < 14 \text{ ft} \quad (4c)$$

AASHTO 기준에서 제시된 식은 단지 거더간격만을 고려하여 하중분배계수를 구함으로써 다른 변수에 대한 영향이 고려되지 않았으므로 지간이 작은 교량의 경우에는 불안전축의 단면력 산정을 초래하고, 지간이 큰 교량의 경우에는 비경제적 교량설계를 유발시킨다

는 지적을 받고 있으며, 특히 사교에 대한 고려를 하고 있지 않다는 단점을 가지고 있으며, 거더전단력을 구하기 위한 별도의 규정도 마련되어 있지 않다.

2.3 AASHTO LRFD 기준

AASHTO LRFD기준(1998)은 거더간격(S), 지간(L), 슬래브 두께(ts), 강성계수(Kg), 및 재하차선수, 사각 등을 고려하여 휨모멘트에 대해서는 식 (5a), (5b), (5c) 와 같이 제시하였다.

내측거더에 대한 분배계수 ;

$$g_{interior} = 0.075 + \left(\frac{S}{200}\right)^{0.6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{K_g}{L t_s^3}\right)^{0.1} \quad (5a)$$

여기서 S는 거더간격, L은 지간, Kg는 교축방향의 강성계수, ts는 슬래브의 두께를 나타낸다.

외측거더에 대한 분배계수 ;

$$g = e g_{interior} \left[e = 0.77 + \frac{d_e}{2800} \right] \quad (5b)$$

여기서 ginterior는 내측거더에 대한 분배계수이고, de는 외측거더의 중심에서 연석까지의 거리를 나타낸다.

사각에 대한 감소계수 ;

$$r = 1 - c_1 (\tan \theta)^{1.5} \quad 30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$$

$$c_1 = 0.25 \left(\frac{K_g}{L t_s^3}\right)^{0.25} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.5} \quad (5c)$$

또한 전단력을 구하기 위한 내측거더 및 외측거더에 대한 분배계수의 식을 별도로 두고 있으며, 사교일 경우 둔각부 외측거더에서의 전단력 증가계수에 대한 식도 마련되어 있다.

2.4 Tarhini 및 Bishara의 하중분배식

Tarhini등(1992)은 유한요소법을 이용하여 사각을 갖지 않는 형교에 대하여 거더간격 S와 지간 L을 매개변수로 하여 하중분배계수 산정식을 식 (6)과 같이 제시하였다.

$$DF = 0.00013L^2 - 0.021L + 1.25\sqrt{S} - \frac{(S+7)}{10} \quad (6)$$

또한 Bishara등(1993)은 36개의 중지간 합성형교에 대한 유한요소해석결과를 바탕으로 직교와 사교의 윤

하중분배식을 식 (7a), (7b), (7c), (7d), (7e), (7f) 같이 제시하였다.

외측거더 : 직교일때 ($\theta < 40^\circ$)

$$DF = \frac{SL^{0.2}}{13 + 0.8s} \quad (7a)$$

사교일때 ($40^\circ < \theta < 60^\circ$)

$$DF = \frac{SL^{0.2}}{13 + 0.8S} - R \quad (7b)$$

$$R = \frac{6.3SN^{2.3}}{(1 + 0.0625S)WL^{1.3}} (\theta - 40^\circ) \quad (7c)$$

내측거더 : 직교일때 ($\theta < 30^\circ$)

$$DF = 0.77S \frac{N^{1.25}}{W^{0.8}} \quad (7d)$$

사교일때 ($30^\circ < \theta < 60^\circ$)

$$R = \frac{S}{11700L^{0.41}} \left(\frac{G}{N}\right)^{4.8} (\theta - 30^\circ) \quad (7f)$$

$$DF = 0.77S \frac{N^{1.25}}{W^{0.8}} - R \quad (7e)$$

여기서 S는 거더간격, L은 지간, W는 교폭, N은 하중이 재하되는 차선수, θ 는 사각을 나타낸다.

2.5 사교의 특성

판형교의 하중분배계수의 연구시 고려되어야 할 사교의 특성들은 다음과 같다.

- (1) 사교는 직교와 달리 단면력이 좌우 대칭으로 발생하지 않으며, 거더에서의 최대 휨모멘트는 지간중앙에서가 아니라 그림 1 에서와 같이 둔각부 모서리에 가까운 위치에서 발생하게 되고, 이런 경향은 사각이 커질수록 심해진다.
- (2) 사교의 축방향 최대 휨모멘트는 일반적으로 같은 지간과 폭을 가진 직교보다 작다. 그러나 가로방향의 휨모멘트는 같은 지간과 폭을 가진 직교에 비해 상당히 큰 값을 가진다.



그림 1. 사각에 따른 최대 휨모멘트 위치의 변화

(3) 사각이 증가함에 따라 거더의 휨모멘트는 감소하고 가로보, 슬래브의 휨모멘트는 증가하며, 비틀림 강성이 클수록 사각의 변화에 대해서 예민하게 거동한다. 그리고 비틀림에 의한 영향은 외측거더에 대해서는 크지만, 내측거더에서는 상대적으로 근소하다.

3. 유한요소 해석모델의 적합성 검토

유한요소법은 복잡한 구조해석에 쉽고 효과적인 수단을 제공하여 구조물의 거동을 정확하게 해석할 수 있게 한다. 본 연구에서는 범용 구조해석프로그램인 SAP 2000을 사용하여 다수의 판형교 구조해석을 수행하였다. SAP 2000에서 형교의 해석시 사용되는 유한요소는 보요소(3D beam element), 판요소(3D plate/shell element), 입체요소(3D solid element)로 크게 나뉜다. 유한요소법의 적용시 실제구조물과 부합하는 모델을 선정해야 하며 잘못된 모델링은 격자모델이나 입체 프레임과 같은 단순한 형상모델을 적용하였을 때보다도 부정확한 결과를 유발할 수도 있다.

본 연구에서는 판형교에 있어서 실제 구조물의 거동과 부합하는 유한요소모델을 찾기 위하여 앞선 연구자들의 경험을 바탕으로 하여 여러가지 유한요소 조합 중 판형교의 모델을 그림 2와 같이 2가지의 유력한 유한요소 조합으로 압축하였다. (a)조합에서 슬래브는 solid요소, 거더는 shell요소의 조합으로 표현하고, (b) 조합에서 슬래브와 거더 모두 shell요소의 조합으로 표현하였다. 그리고 실제 판형교의 거동에 부합하는 유한요소 조합을 선정하기 위하여 현장실험결과(A교량: US23 over the Huron River in Ann Arbor, Michigan ; B교량: M-50 over Grand River in Jackson County, Michigan, 문헌 1)를 (a)조합으로 모델링하여 구조해석한 결과와 (b)조합으로 모델링하여 구조해석한 결과와 비교 분석을 하였다.

A교량의 단면형상과 내측주형의 하중분배계수를 구하기 위한 활하중의 재하위치 그림 3과 같다. 또한 실험결과와 비교검토할 수치해석모델은 그림 4와 같다.

그림 4는 A교량에 대해 shell+shell 조합으로 유한요소 모델링한 예이다. 그림 5는 각각의 유한요소해석결과와 현장실험결과를 비교한 것이다.

그림 5에서 보는 바와 같이 shell+shell 조합에 비해 solid+shell 조합에 의한 구조해석 결과가 전반적으로 하중분배계수 값이 작게 나타나고 있다.

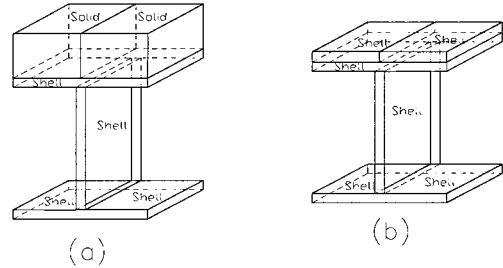


그림 2. 실험결과와 비교할 유한요소모델의 종류

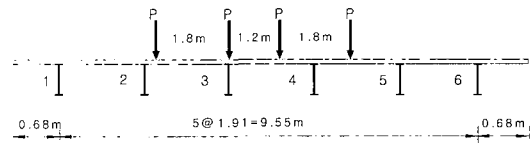


그림 3. 내측거더에 대한 재하방법(A교량)

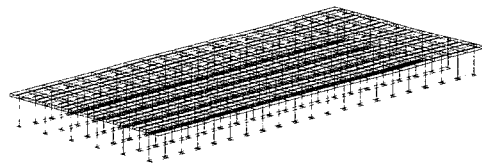
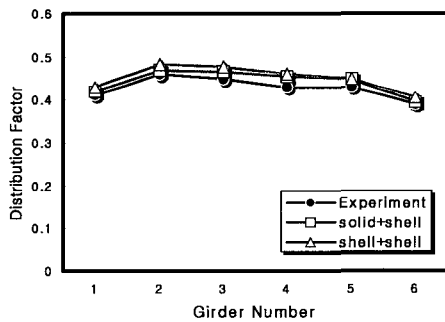
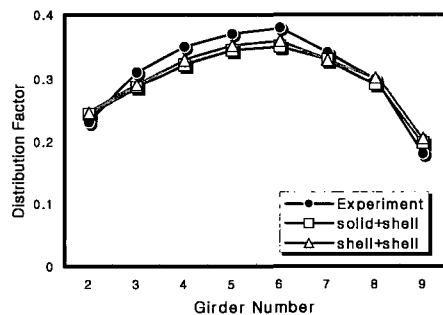


그림 4. 유한요소해석 모델링(A교량)



(a) A교량



(b) B교량

그림 5. 현장실험지와 유한요소해석지의 비교

A교량의 경우 solid+shell 조합 및 shell+shell 조합에 의한 유한요소해석치가 모두 실험치에 근접하고 있음을 볼 수 있으나, B교량의 경우 전반적으로 해석치가 실험치보다 작게 나타났으며, shell+shell 조합에 의한 유한요소 해석치가 실험치에 보다 근접함을 확인할 수 있다. B교량의 경우 solid+shell 조합 해석치가 shell+shell 조합 해석치보다 작은 하중분배계수를 도출시킴을 알 수 있는데, 즉 불안전축의 하중분배계수를 산정하게 된다는 것을 뜻한다. 따라서 본 연구의 목적중의 하나가 유한요소해석치를 바탕으로 실제 적용할 수 있는 하중분배계수식을 제안하는 것임을 감안할 때 shell+shell 유한요소모델 조합을 선택하는 것이 타당할 것으로 판단되며, shell+shell 유한요소모델 조합은 이미 Nutt (1988) 등에 의해서 그 효용성이 검증된 바 있다.

4. 판형교의 유한요소해석 및 매개 변수의 영향분석

4.1 연구 방법

해석모델의 형식과 매개변수는 다음과 같은 가정과 범위 내에서 수행되었다.

- (1) 교량은 단순합성 판형교이다.
- (2) 지간은 25m, 35m, 45m이고 거더간격은 1.8m, 2.4m, 3.6m, 4.2m로 변화시켜 모델링한다.
- (3) 차선수는 2~4차선이며, 각 차선의 슬래브 폭은 9.2m, 12.4m, 14.4m이다.
- (4) 상관강비(거더의 휨강성 EI/슬래브의 휨강성 EI)는 11~34사이에서 변화한다.
- (5) 사각은 0° (직교)~60° 이다.
- (6) 바닥판의 두께는 25cm로 일정하며, $f_{ck} = 270 \text{ kgf/cm}^2$ 이다.
- (7) 거더의 강성을 고려하기 위해 판형의 복 부판

높이는 1.4m~1.8m, 플랜지 두께는 1.5cm~3cm, 복부의 두께는 1cm~1.2cm로 변화시킨다.

- (8) 거더의 재료는 SWS 50이고, $f_y = 3200 \text{ kgf/cm}^2$ 이다.
- (9) 헌치부분은 수치해석에서 제외되고, 모든 재료는 탄성범위내에 있으며, 균질한 성질을 갖는다.
- (10) 재하하중은 건설교통부 도로교표준시방서에서 제시하는 표준트럭 하중을 사용한다.
- (11) 가로보 및 브레이싱의 설치는 5m간격으로 사교격자(skew grid)와 직교격자(right grid)로 설치한다.

4.2 판형교의 해석변수

해석변수는 표 1과 같은 범위로 하였으며 각각을 기호로 나타내었다.

4.3 하중재하 방법

사교에서의 거더의 최대휨모멘트는 지간 중앙점에서 둔각부 모서리에 치우친 위치에서 발생하고, 또한 그 발생위치는 교량의 기하학적 조건 및 사각, 하중의 재하상황 등에 따라 일정하지 않으며, 이러한 현상은 최대전단력 발생위치의 경우에도 마찬가지이다. 그림 6(a), 6(b)와 같이 외측과 내측거더에서의 최대단면력 발생위치를 찾기 위해 두 대의 트럭하중을 교축방향으로 20cm 간격으로 이동시켜가며 최대휨모멘트가 발생하도록 재하하여 해석하였다.

4.4 거더간격에 따른 영향분석

그림 7과 같이 거더간격이 증가함에 따라 외측 및 내측거더 모두 하중분배계수가 증가하는 경향을 보이고 있으며, 사각이 증가할수록 거더간격의 증가에 따른 하중분배계수의 증가율이 감소함을 보이고 있다.

표 1. 해석변수의 범위 및 표현

주형간격	S1.8	S2.4	S3.0	S3.6	S4.2		
	1.8m	2.4m	3.0m	3.6m	4.2m		
지간	L25		L35		L45		
	25m		35m		45m		
슬랩 폭	W9.2		W12.4		W14.4		
	9.2m		12.4m		14.4m		
사각	D0	D10	D20	D30	D40	D50	D60
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
상관강비	H11.3		H13.8		H16.4		H18.9
	11.3		13.8		16.4		18.9
	H22.1		H25.5		H30.2		H34.4
	22.1		25.5		30.2		34.4

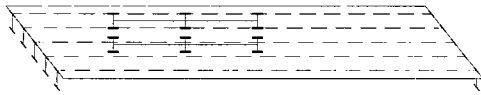


그림 6(a). 트럭의 재하위치(외측거더)

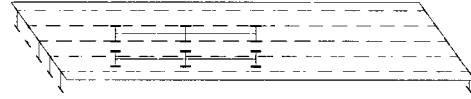


그림 6(b). 트럭의 재하위치(내측거더)

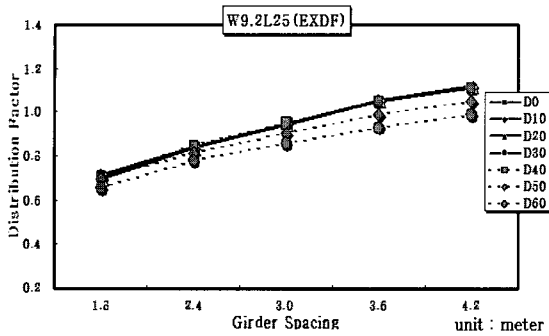


그림 7(a). 거더간격에 따른 DF의 변화(외측거더)

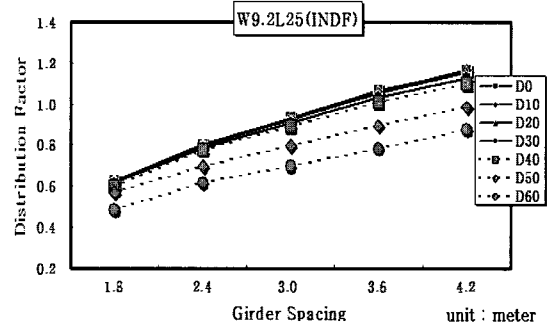


그림 7(b). 거더간격에 따른 DF의 변화(내측거더)

4.5 지간에 따른 영향분석

그림 8에서 보는 바와 같이 사각의 증가에 따라 하중분배계수는 작아지며, 지간의 변화가 하중분배계수에 미치는 영향은 상당히 작다는 것을 알 수 있다. 하중분배계수가 외측거더의 경우 미소한 증가의 경향을, 내측거더의 경우 미소한 감소의 경향을 보고 있다.

4.6 슬래브 폭에 따른 영향분석

그림 9에서 보는 바와 같이 사각의 증가에 따라 하중분배계수는 작아지며, 슬래브폭이 증가함에 따라 하중분배계수는 외측거더 및 내측거더 모두 감소함을 보이고 있다.

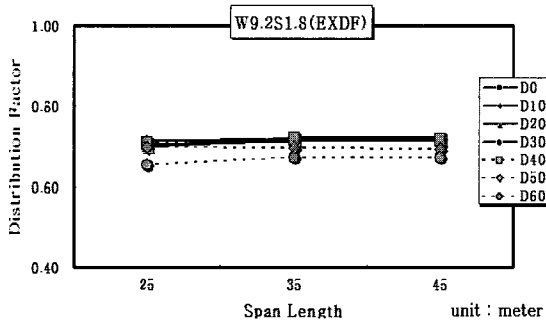


그림 8(a). 지간에 따른 DF의 변화(외측거더)

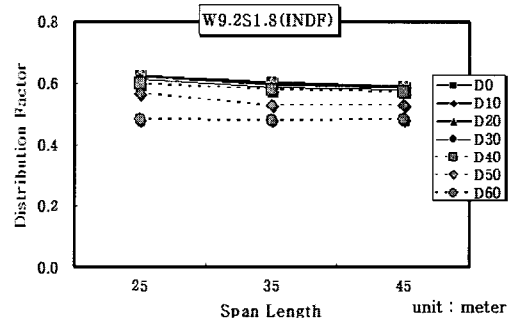


그림 8(b). 지간에 따른 DF의 변화(내측거더)

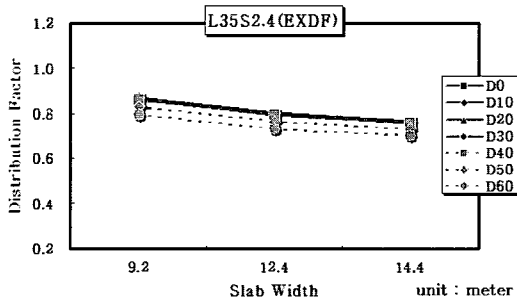


그림 9(a). 슬래브 폭에 따른 DF의 변화(외측거더)

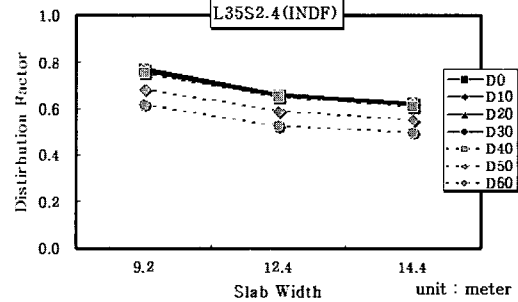


그림 9(b). 슬래브 폭에 따른 DF의 변화(내측거더)

4.7 사각에 따른 영향분석

그림 10은 다양한 거더간격을 가진 W12.4, L35 교량에서 사각의 변화에 따른 하중분배계수를 나타낸 것이다. 그림 10에서 보는 바와 같이 하중분배계수는 사각의 증가에 대해 변화가 없이 거의 일정한 값을 보이다가, 외측거더는 40°를 기준으로, 내측거더는 30°를 기준으로 가파른 하중분배계수의 감소를 보인다.

4.8 상관강비에 따른 영향분석

그림 11에서 보는 바와 같이 상관강비가 증가함에 따라서 하중분배계수는 외측거더 및 내측거더 모두 감소함을 보이며, 판형교에서 상관강비가 하중분배계수에 미치는 영향이 대단히 크다는 것을 알 수 있다.

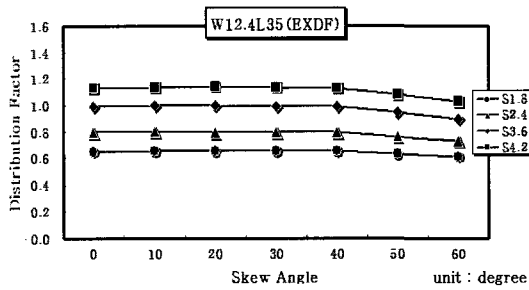


그림 10(a). 사각에 따른 DF의 변화(외측거더)

4.9 가로보 및 브레이싱에 따른 영향 분석

가로보 및 수직브레이싱의 설치가 횡분배에 미치는 영향을 고려하기 위하여 W9.2L25S1.8의 해석모델에 5m 간격으로 가로보 및 수직 브레이싱을 설치하여 해석을 수행하였다. 또한 한국 도로교표준시방서에서는 사교의 경우 가로보 배치에 관한 규정이 없지만, 일본 강도도로교 설계시방서에서는 직교격자를 원칙으로 하고 있고, AASHTO LRFD에서는 사교격자 또는 직교격자 어느 경우도 무방하다고 되어 있다. 그림 12에서는 외측거더의 경우 가로보 및 브레이싱의 설치가 하중분배 계수에 미치는 영향은 거의 없으나, 내측거더의 경우 가로보 및 브레이싱의 설치가 하중분배에 유리하게 작용한다는 것을 보이고 있다. 또한 그림 13과 같이 직교

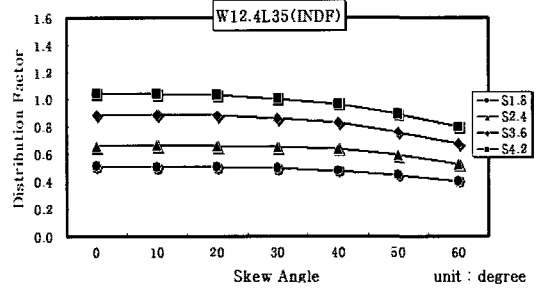


그림 10(b). 사각에 따른 DF의 변화(내측거더)

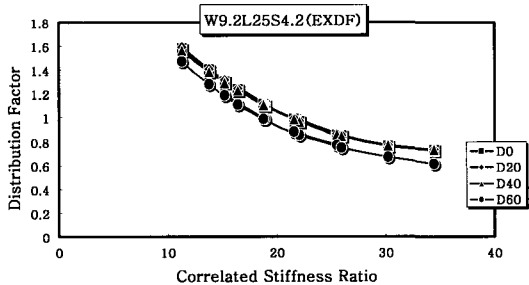


그림 11(a). 상관강비에 따른 DF의 변화(외측거더)

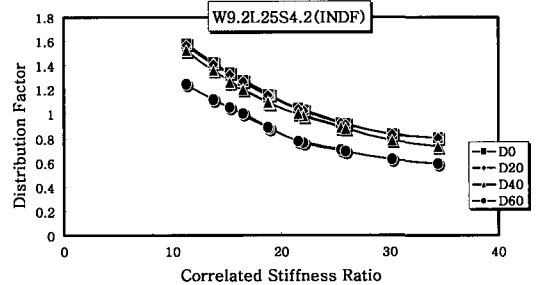


그림 11(b). 상관강비에 따른 DF의 변화(내측거더)

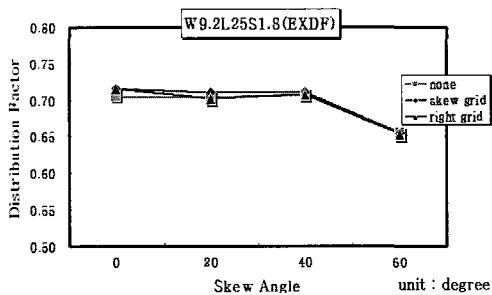


그림 12(a). 가로보의 설치 및 방법에 따른 DF의 변화(외측거더)

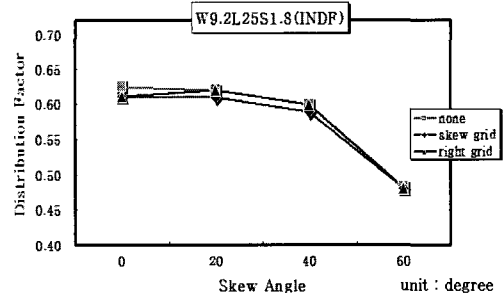


그림 12(b). 가로보의 설치 및 방법에 따른 DF의 변화(내측거더)

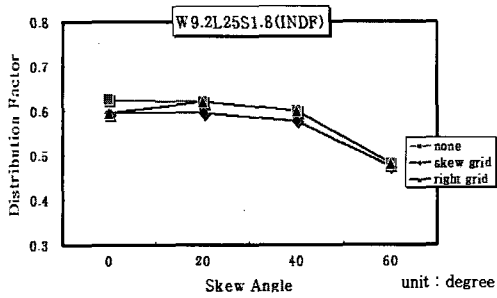


그림 13. 브레이싱의 설치방법에 따른 DF의 변화

격자보다는 사교격자가 하중분배에 더 유리함을 보이고 있으며 그림 14에서는 가로보 보다는 브레이싱의 설치가 하중분배에 유리함을 보이고 있다.

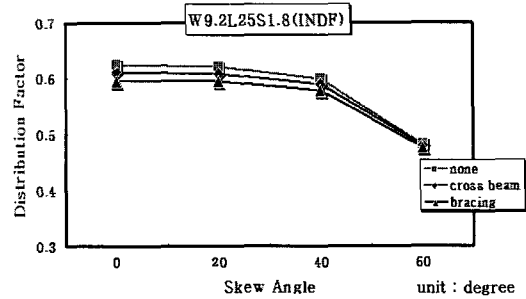


그림 14. 가로보와 브레이싱의 설치에 따른 영향 비교

이와같은 전단력의 증가현상은 주형간격이 작은 경우 두드러지는 경향을 보이고 있다.

4.10 둔각부 외측거더의 전단력

사교의 경우 직교와는 달리 둔각부 외측거더의 전단력이 증가하는 경향을 가지고 있어, 둔각부 외측거더의 전단력에 대한 분배계수를 올바르게 평가하는 것이 설계시 대단히 중요한 과정이라 할 수 있다.

그림 16에서 보는바와 같이 지간이 증가할수록 둔각부 외측거더의 전단력은 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 그림 17에서 보는 바와 같이 사각의 증가에 따라 거의 비례하여 전단력이 증가하는 현상을 볼 수 있다.

그림 15에서 보는 바와 같이 주형간격이 증가할수록 둔각부에서 외측거더의 전단력은 증가한다는 것을 알 수 있다. 주형간격 1.8m의 경우 사각이 0.에서 60. 까지 증가함에 따라 최대 32%의 전단력 증가를 나타냈다.

상기의 분석내용을 종합하여 볼 때 판형사교의 설계시 AASHTO규준에서와 같이 휨모멘트 산정시의 하중분배계수 산정식을 전단력에 동일하게 적용할 때는 부족한 설계 전단력을 산정하게 되며, 결국 불안정한 설계를 초래하게 한다는 것을 알 수가 있다.

따라서 판형사교에서 전단력의 산정시는 반드시 둔각부 외측거더의 전단력을 별도로 계산하여야 한다.

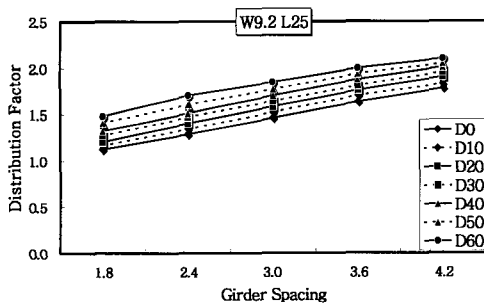


그림 15. 주형간격에 따른 영향 비교

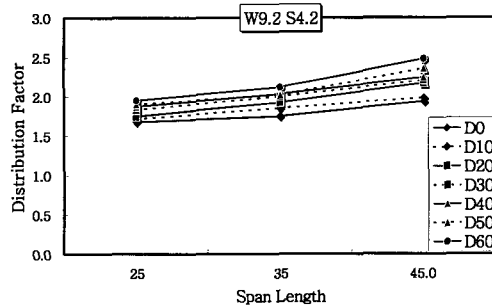


그림 16. 경간길이에 따른 영향 비교

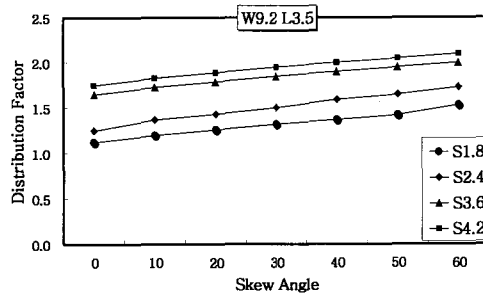


그림 17. 사각에 따른 영향 비교

5. 운하중분배계수식의 개발 및 검증

5.1 제안식의 개발

전술한 해석결과들을 바탕으로 다중회귀분석(multiple regression analysis)을 수행한 결과 식 (8a), (8b), (9a), (9b)와 같은 휨모멘트에 대한 하중분배계수식을 제안하며, 상관계수는 평균 98.4%로서 해석결과를 비교적 정확히 반영시킬 수 있는 식이라 할 수 있다.

외측거더에 대한 하중분배계수식 ;

$$(\theta \leq 40^\circ)$$

$$DF = 0.917 - 0.0208W + 0.0014L + 0.120S - 0.0061H \quad (8a)$$

$$(40^\circ \leq \theta \leq 60^\circ)$$

$$DF = 1.04 - 0.0195W + 0.0017L + 0.111S - 0.0048H - 0.0040D \quad (8b)$$

내측거더에 대한 하중분배계수식 ;

$$(\theta \leq 30^\circ)$$

$$DF = 1.13 - 0.0271W - 0.0050L + 0.129S - 0.0074H \quad (9a)$$

$$(30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ)$$

$$DF = 1.37 - 0.0239W - 0.0034L + 0.101S - 0.0068H - 0.0074D \quad (9b)$$

여기서 DF는 하중분배계수, S는 거더간격, L은 지간,

W는 슬래브 폭, H는 상관장비, D는 사각을 나타내며, S, L 및 W는 미터단위이며, D는 degree단위이다.

5.2 제안식과 기존의 식과의 비교분석

본 연구의 제안식을 비롯하여 AASHTO설계규준식, AASHTO LRFD설계규준식, Bishara등의 제안식을 슬래브 폭 9.2m, 상관장비 18.8인 강관형사교에 적용시켜 비교한 결과는 그림 18과 그림 19와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 본 연구의 제안식의 값은 전반적으로 Bishara등의 제안식과 AASHTO규준식 및 AASHTO LRFD규준식의 중간값을 보이고 있다.

본 연구의 제안식에서는 외측거더는 지간의 변화가 하중분배계수에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났으나, 내측거더는 지간이 커질수록 하중분배계수가 감소함을 보이고 있으며 이는 AASHTO LRFD규준식의 경향과 일치하는 것을 알 수가 있다. 그러나 지간의 증가에 따른 하중분배계수의 감소의 정도는 다른 영향인자에 비해 크지 않으며, 기존의 AASHTO설계규준의 문제점으로 지적되어온 점에 대해 반론의 여지를 제공한다고 볼 수 있다. 거더간격의 변화에 따른 하중분배계수는 외측거더에서 AASHTO규준식과 AASHTO LRFD규준식의 값이 거의 일치함을 보였으며, 본 제안식은 이들식과 Bishara등의 제안식의 중간값을 보이고 있다. 내측거더에서는 본 제안식과 AASHTO규준식과 상당히 근접하고 있음을 볼 수 있다. 전반적으로

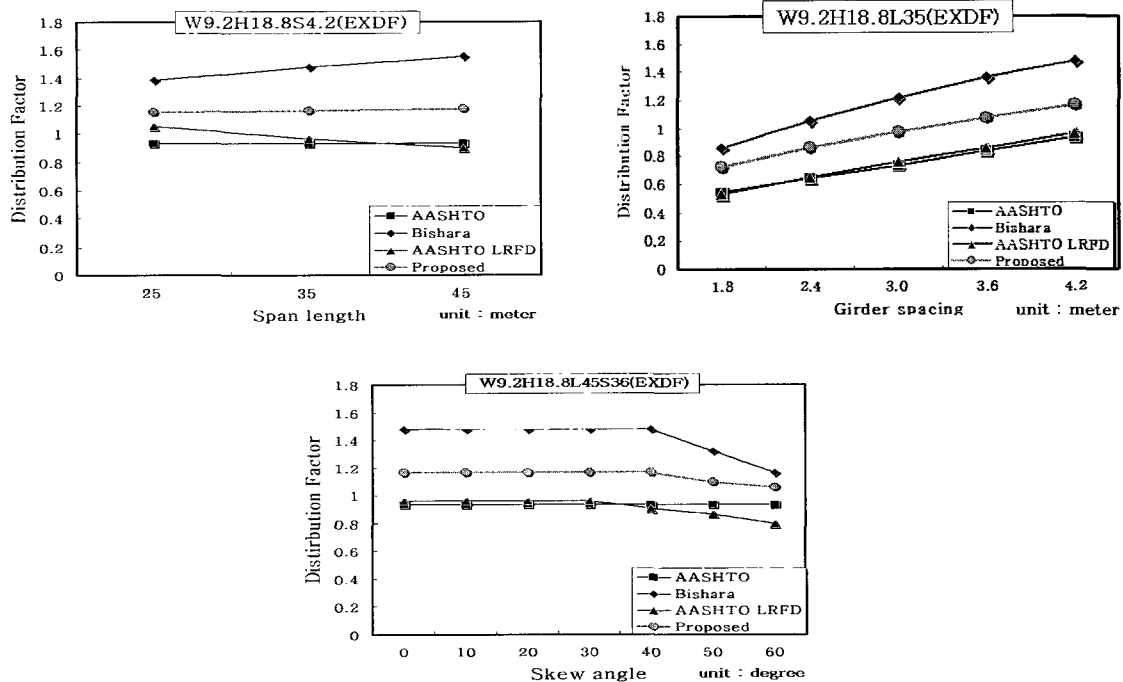


그림 18. 제안식과 기존식의 비교(외측거더)

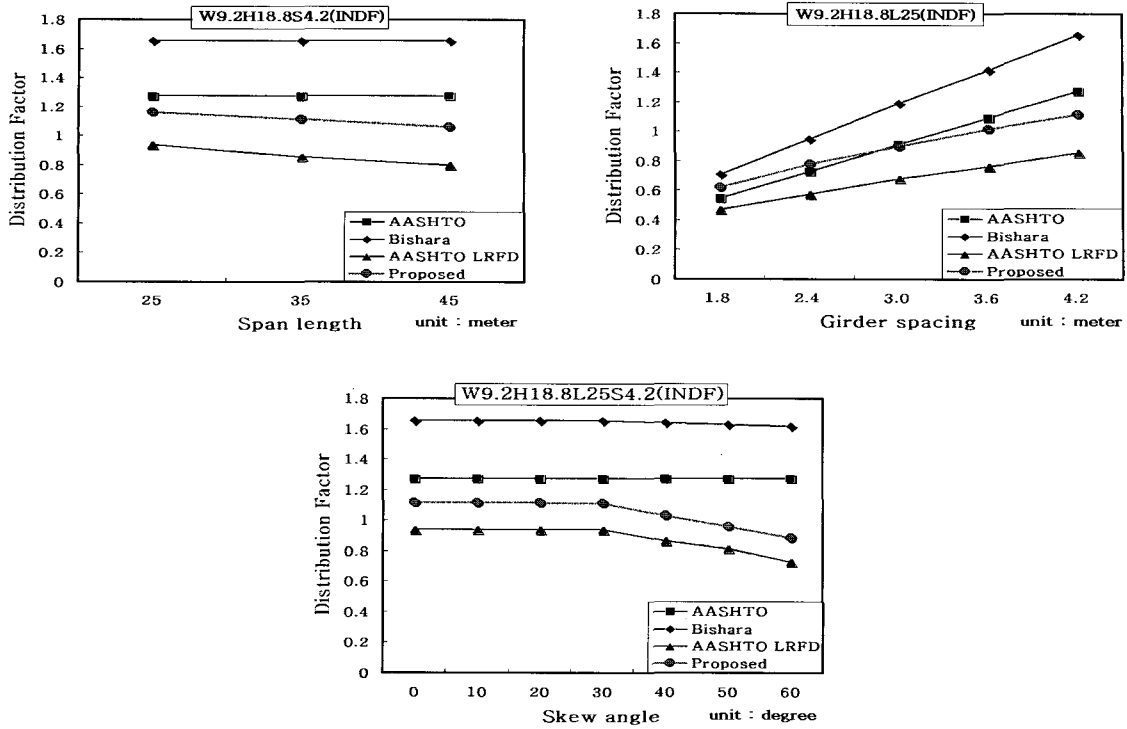


그림 19. 제안식과 기존식의 비교(내측거더)

Bishara 등의 제안식에 의한 하중분배계수가 본 제안식을 비롯한 여타의 식보다 크게 나타나는 이유는 거더의 강성을 나타내는 변수가 Bishara 등의 제안식에서는 포함되지 않은 이유인 때문인 것으로 사료된다. 또한 사각의 변화에 대하여 AASHTO LRFD 규준식은 외측거더, 내측거더 모두 하중분배계수가 사각 30°를 기준으로 감소하며, Bishara 등의 제안식과 본 제안식은 외측거더의 경우 40°, 내측거더의 경우 30°를 기준으로 감소하고 있다.

6. 결론

본 연구는 강판형사교의 거더모멘트 하중분배계수에 관한 것으로서, 하중분배계수에 영향을 미치는 여러 매개변수를 고려하여 유한요소해석을 하고, 강판형사교의 하중분배계수를 산정하는 식을 제안하였다.

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 판형교의 유한요소해석시 슬래브와 거더 모두 shell 요소로 모델링하였을 때 적합한 하중분배계수를 구할 수 있었다.
- 2) 거더간격, 슬래브폭, 상관강비, 사각이 강판형사교의 하중분배에 미치는 영향에 비해 지간은 미소한 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- 3) 가로보와 브레이싱을 사교격자 구조로 설치할 경우 강판형사교의 내측거더에서는 하중분배가 향

상되며, 가로보보다는 브레이싱을 설치할 때가 유리한 것으로 밝혀졌다.

- 4) 판형사교에서 설계 전단력의 산정시는 반드시 둔각부 외측거더의 전단력을 별도로 계산하여야 한다.
- 5) 본 연구의 유한요소해석결과를 토대로 회귀분석을 이용하여 지간, 거더간격, 상관강비, 슬래브폭, 사각을 변수로 하는 휨모멘트 하중분배계수 산정식을 개발하여 제시하였다.

참고 문헌

- 김상진, 박문호 (1997) "I형 강교의 거더 하중분배계수와 충격계수에 관한 현장실험", 대한토목학회논문집, 대한토목학회, Vol.17, pp. 43-57.
- 정철현, 김영진 (1997) "사각을 갖는 슬래브 교량의 하중분배 효과에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 대한토목학회, Vol.17, pp. 597-605.
- 한국도로교통협회 (2000) 도로교설계기준.
- 高島春生. (1998) "道路橋橫分配實用計算法.", 원기술, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 2nd ed (1998) American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Bakht, B., and Moses, F. (1988) "Lateral Distribution Factors for Highway Bridges", Journal of the

- Structural Division, ASCE, Vol.114, No.8, Aug. pp. 1785-1803.
- Bishara, A. G., Maria, C. L., and El-Ali, N. D. (1993) "Wheel Load Distribution on Simply Supported Skew I-Beam Composite Bridges", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.119, No.2, Feb. pp. 399-419.
- Hay, C.O., Jr., Session, L.M., and Berry, A.J. (1986) "Further Studies on Lateral Load Distribution Using Finite Element Methods." Transp. Res. Rec. (1072). Transportation Research Board, Wathington, D.C., pp.6-14.
- Imbsen, R.A., and Nutt. R.V. (1978) "Load Distribution Study on Highway Bridges Using STRUDL FEA Capabilities." Conf. on Computing in Civil Engineering, ASCE, New York.
- Ministry of Transportation Communications, Ontario Highway Bridge Design Code, 2nd Ed, (1983) Ontario, Canada.
- Newmark, Siess, and Chen, (1957) Studies of Slab and Beam Highway Bridges, Part 6. "Moments in Simply Supported Skew I-beam Bridges." University of Illinois Bulletin No.439.
- Nutt, R.V., Schamber, R.A., and Zokaie, T. (1988) "Distribution of Wheel Loads on Highway Bridges." Project 12-2a6. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- SAP 2000 Analysis Reference and Design Manual (1998) CSI Computers and Structures, Inc.
- Standard Specifications for Highway Bridges (2002) American Association of State Highway and Transportation Officials, 17th ed.
- Tarhini, K. M., and Frederick, G. R. (1992) "Wheel Load Distribution in I-Girder Highway Bridges", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.118, No.5, May. pp. 1285-1294.

© 논문접수일 : 2005년 01월 25일
 © 심사의뢰일 : 2005년 01월 27일
 © 심사완료일 : 2005년 03월 19일