물량저감 중공 철근콘크리트 교각의 설계프로그램과 경제성 평가

김 태 훈^{1*} · 손 윤 기² · 양 남 석³ · 이 승 훈¹

¹삼성물산(주)건설부문 기술연구실, ²(주)엔비코컨설팅트 구조부, ³(주)다산컨설팅트 구조사업본부

Design Program and Economic Evaluation for Hollow RC Bridge Columns with Reinforcement Details for Material Quantity Reduction

Tae-Hoon Kim^{1*}, Yun-Ki Son², Nam-Seok Yang³ and Seung-Hoon Lee¹

¹Construction Technology Division, Samsung Construction & Trading Corporation, Seoul, 135-935, Korea

²Structural Division, Envico Consultants Co., Ltd, Seongnam, 463-400, Korea

³Structure Division, Dasan Consultants Co., Ltd, Seoul, 138-200, Korea

Abstract

This paper presents special-purpose design program and plastic design results for hollow RC bridge columns with reinforcement details for material quantity reduction. The developed reinforcement details has economic feasibility and rationality and makes construction periods shorter. This study documents the economic evaluation of hollow reinforced concrete bridge column systems with reinforcement details for material quantity reduction and presents conclusions based on the application findings. As a result, the proposed reinforcement details for material quantity reduction were designed prior to the existing reinforcement details in terms of structural rationality, constructability, and economic.

Keywords : material quantity reduction, reinforcement details, hollow, bridge columns, design program, plastic design, economic feasibility, constructability

1. 서 론

교량이 장대화되고, 교각의 높이가 높아짐에 따라 발생하는 자중증가에 의한 과도한 설계 지진력을 감소시킬 수 있는 교각의 필요성이 대두되었으며, 이러한 필요에 의해 개발된 교각구조가 바로 중공단면 교각이다. 이러한 중공단면 교각은 근래에 구조물의 자중, 사용재료의 경감 및 수화열 억제를 위하여 경제적 및 구조적인 측면에서 고속도로 교량 및 기타 교량에서 널리 설계·시공되고 있다(Zahn *et al.*, 1990; Yeh *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2012; 2013a).

중공단면 교각은 일반적으로 축방향으로 내·외측 축방향 철근을 배근한 후 내·외측 축방향철근을 각각 둘러 감도록 내·외측 횡철근을 배근하고, 마지막으로 보강 횡철근을 배

근하는 방식을 따르고 있다. 이 방식은 배근공간의 확보가 어렵고 내·외측 횡철근과 보강 횡철근 사이에 간섭이 발생하는 등 배근작업이 상당히 복잡하다. 또한 중공단면 교각의 심부구속 철근에 대해서는 현행 도로교설계기준(2010)에 명시적으로 규정되어 있지 않으며 중실단면에 비해 상대적으로 심부콘크리트 면적이 작은 중공단면의 횡방향 철근량이 과도하게 산정되고 있는 실정이다. 이 경우 안전측인 설계결과를 제공할 수 있을 것으로 판단되나 경제성 및 합리성을 고려한 경우 이러한 방법은 바람직한 방법이라고 볼 수 없다(Chung *et al.*, 1999; Sun *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2013b).

이 연구는 경제성과 합리성을 갖는 중공 철근콘크리트 교각 시스템을 개발하고 적용하기 위한 일련의 연구로서 중공 단면 교각의 횡방향 철근을 외측 횡철근과 보강 횡철근에 의

* Corresponding author:

Tel: +82-2-2145-6485; E-mail: th1970.kim@samsung.com

Received June 2 2014; Revised July 7 2014

Accepted July 8 2014

©2014 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

한 삼각 구도로 구성하여 내측 횡철근의 생략 내지 감축을 실현한 중공교각의 새로운 철근 배근상세(Kim *et al.*, 2013a; Kim *et al.*, 2013b; 2014)와 연계된다. 개발된 중공단면 교각의 철근상세는 경제성과 합리성을 고려한 새로운 형태의 철근 배근상세로서 배근작업이 용이하며, 급속시공이 가능하다.

이 연구의 목적은 개발된 물량저감 중공 철근콘크리트 교각의 소성설계에 의한 적용을 통해 경제성 및 구조적 합리성을 극대화시키는데 있으며 개발된 전용 설계프로그램을 사용하였고, 이를 통해 개발상세의 경제성, 시공성, 그리고 구조적 합리성을 확인할 수 있었다.

2. 중공교각 물량저감 기술

개발된 물량저감 철근상세를 갖는 중공 철근콘크리트 교각 시스템은 Fig. 1과 같다. 물량저감 철근상세는 외측 축방향 철근과 외측 축방향철근 사이에 위치하도록 배근되는 내측 축방향철근, 그리고 외측 축방향철근을 둘러 감으면서 배근되는 외측 횡철근과 2분의 외측 축방향철근과 1분의 내측 축방향철근을 삼각구도로 연결하도록 배근되는 보강 횡철근을 특징으로 하고 있다. 또한, 철근을 배근하고 콘크리트 타설하면서 기초부를 시공하는 제1단계, 상기한 중공교각의 철근 배근구조에 따라 중공부 철근을 배근하고 콘크리트를 타설하면서 중공부를 시공하는 제2단계, 철근을 배근하고 콘크리트를 타설하면서 코핑부를 시공하는 제3단계에 의한 시공방법을 갖고 있다(Kim *et al.*, 2013a; Kim *et al.*, 2013b; 2014).

종래의 철근상세는 축방향으로 내·외측 축방향철근을 배근하고 내·외측 축방향철근을 각각 둘러 감도록 내·외측 횡철근을 배근하며, 내·외측 축방향철근을 동시에 둘러 감도록 보강 횡철근으로 배근하는 방식을 따르고 있다. 이 방

식은 배근공간의 확보가 어렵고 내·외측 횡철근과 보강 횡철근 사이에 간섭이 생기는 등 배근작업이 상당히 복잡한 단점을 갖고 있다.

이 연구에서 적용한 물량저감 철근상세는 중공단면의 거동 특성을 고려하여 기존 철근상세가 갖고 있는 문제점을 해결하고 경제성과 합리성을 동시에 만족시킬 수 있도록 개발되었다. 즉, 내·외측 축방향철근이 내측보다 외측에 상대적으로 더 많이 배근되어 기존의 배근구조보다 구조적으로 유리한 거동 특성을 나타낸다. 또한 외측 횡철근과 보강 횡철근의 안정적인 삼각 구도에 의한 구속 응력으로 콘크리트의 3축 구속을 실현할 수 있기 때문에 취성 파괴에 유리하게 저항할 수 있으며, 소성거동 능력에 미치는 영향이 미미한 내측 횡철근을 생략 내지 감축할 수 있다.

개발된 물량저감 중공 철근콘크리트 교각 시스템은 현행 도로교설계기준(2010), 콘크리트구조기준(2012), 그리고 AASHTO LRFD(2012) 등을 근거로 하고 있다.

3. 전용 설계프로그램 CalPM-SHC

3.1 개요

프로그램 결과치나 데이터를 표시할 수 있고 그래픽 기능 및 여러 함수를 내장하고 있는 스프레드시트가 개발되어 공학계산에 널리 이용되고 있다. 이 연구에서는 스프레드시트 프로그램 중의 하나인 Excel과 VBA(Visual Basic for Application)를 이용하여 해석 및 설계를 사용자와의 대화식 입출력 형태로 작성한 GUI(Graphical User Interface) 환경(Cho *et al.*, 2000)의 프로그램 CalPM-SHC를 작성하였다.

물량저감 중공 철근콘크리트 교각 설계프로그램 CalPM-

Fig. 1 Hollow RC bridge column systems with reinforcement details for material quantity reduction

Fig. 2 Section properties

SHC은 별도의 프로그램 없이 단면 안정성 검토가 가능하며 도로교 설계기준(2010), 콘크리트구조기준(2012), AASHTO LRFD(2012), Eurocode(2004) 등 국내외 설계 Code를 적용할 수 있으며 Fig. 2와 같이 주로 많이 사용하는 사각형, 원형, 육각형, 팔각형, 트랙형 단면의 검토가 가능하다.

개발된 전용 설계프로그램은 해석 값의 신뢰성을 검토하고자 기존 상용프로그램인 PCA-Column, Midas Civil 및 비선형 해석프로그램 BPM(P-M diagram for biaxial Moment)과 해석 값을 비교·검증하였으며, 전체적으로 검증 프로그램 결과 값과 차이가 없는 것으로 확인되었다.

3.2 프로그램의 구성 및 절차

프로그램은 3개의 Main Module과 4개의 입출력 Sheet로 구성되며 입력된 단면정보 및 철근배근 정보를 좌표값으로 변환하는 Sub Module, 좌표값으로 변환된 정보를 Sheet상에 Plot하는 Sub Module 등이 있다.

프로그램 CalPM-SHC의 입력데이터는 단면제원, 재료 물성치, 철근배근 정보, 그리고 작용하중 등이다. 데이터의 입력이 끝나면, 전체좌표계 X-Y에 대한 단면의 소성중심이 구해지며 이에 대한 작용 하중의 편심이 구해진다. 그 다음 중립축의 가정에 따른 각 단계의 극한 강도가 구해지며 이를 근거로 P-M 상관도가 그려진다.

Fig. 3은 극한상태에서 2축 편심하중을 받는 사각형 기둥 부재의 응력 및 변형률 분포를 나타낸 것으로서, 축하중 P에 대한 연직방향 및 모멘트에 대한 평형조건식을 세우면 다음 식과 같다.

$$P = P_c + \sum C_{si} - \sum T_{si} \quad (1)$$

$$Pe_x = P_c X_c + \sum C_{si} X_{si} + \sum T_{si} X_{si} \quad (2)$$

$$Pe_y = P_c Y_c + \sum C_{si} Y_{si} + \sum T_{si} Y_{si} \quad (3)$$

Fig. 3 Bi-axial behavior

Fig. 4 Program procedure

여기서, C_{si} = i 번째 축방향 철근의 압축력; T_{si} = i 번째 축방향 철근의 인장력; X_{si} = i 번째 축방향 철근의 x 좌표; 그리고 Y_{si} = i 번째 축방향 철근의 y 좌표이다.

축하중의 크기와 편심량이 주어지면, 중립축의 위치 및 각도를 구하기 위해서 식 (1)~(3)을 만족할 때까지 반복계산을 수행한다. 설계강도는 변형률과 힘의 분포에서 중립축을 변화시키면서 1축 힘을 받는 기둥의 경우와 같이 변형률 적합조건과 힘의 평형조건을 적용하여 구할 수 있다.

Fig. 4는 중립축의 위치 결정방법을 이용하여 2축 힘을 받는 기둥부재의 P-M 상관도 작성과정을 나타낸 것이다. 이때 콘크리트의 압축응력분포는 각 Code에서 규정한 분포 중 등가직사각형 블록을 적용하였으며, 철근의 응력-변형률은 철근항복 이후를 수평직선으로 가정한 완전 탄소성 응력-변형률 곡선을 적용하였다.

중공 교각은 일반적으로 장주인 경우가 대부분이다. 따라서 개발된 프로그램은 압축부재의 장주효과에 의한 확대계수 모멘트를 산정하기 위해서 기둥의 유효길이, 단면의 세장비, 그리고 기둥 단부의 조건 등을 고려하였다.

4. 적용 예 및 고찰

4.1 대상 교량 현황

개발된 물량저감 중공 철근콘크리트 교각의 소성설계 및

대상교량은 PSC 박스거더교의 상부형식과 육각형 중공교 각의 하부형식을 갖으며 교량연장은 430m이다.

Fig. 8 Hollow RC bridge column section of OO bridge

기존 배근상세에 의해 탄성설계된 육각형 중공단면 교각을 Fig. 8과 같이 개발된 물량저감 철근상세에 의해 소성설계를 적용하고 이에 대한 경제성 평가를 수행하였다.

4.2 지진해석 및 소성설계

적용 설계기준 및 교량제원은 기 작성된 OO교량 성과를 기초로 구조해석을 진행하였다. 이때 적용받침은 소성설계의 특성과 최적화를 위해 기존 지진격리받침을 Fig. 9와 같이

일반적인 포트받침으로 변경하였으며 그 해석결과는 Table 1과 같다.

상부구조는 거더형상을 통하여 알 수 있는 단면적으로 프로그램에서 자동 생성되도록 재하하고, 그 외의 고정하중반력과 2차 고정하중들은 각각의 주형을 모델링한 프레임요소에 단위길이당의 하중과 질량으로 재하하여 구조해석을 수행하였다. 그리고 하부구조는 콘크리트로 구성된 교각으로 각 단면적에 따라 프로그램에서 자동으로 계산되는 질량을 사용하였다.

Fig. 9 Bearing type of OO bridge (plastic design)

Table 1 Bearing member forces

Item	Earthquake case 1(kN)		Earthquake case 2(kN)		Allowable horizontal force	Check
	Longitudinal	Transverse	Longitudinal	Transverse		
A1	0	369	0	832	1,630	OK
P1	0	607	0	1,722	2,520	OK
P2	0	240	0	749	2,520	OK
P3	0	391	0	1,249	2,520	OK
P4	2,220	431	1,051	1,391	2,520	OK
P5	0	335	0	1,053	2,520	OK
P6	0	225	0	694	2,520	OK
P7	0	598	0	1,932	2,520	OK
A2	0	343	0	835	1,630	OK

Table 2 Bottom member forces

Item	Earthquake case 1				Earthquake case 2			
	Bending moment(kN·m)		Shear force(kN)		Bending moment(kN·m)		Shear force(kN)	
	Longitudinal	Transverse	Longitudinal	Transverse	Longitudinal	Transverse	Longitudinal	Transverse
P3	9,043	9,807	983	949	2,380	35,502	376	3,043
P4	54,511	10,731	4,296	1,056	16,411	35,600	1,329	3,411

Table 3 Bottom member forces (load combinations)

Item		P (kN)	M_x (kN·m)	M_y (kN·m)	M_c (kN·m)
P3	Maximum axial force	32,111.4	-	-	-
	Maximum bending moment	25,215.5	12,615.6	58,606.4	59,948.9
	Maximum eccentric	19,396.5	12,358.3	57,586.5	58,897.6
	Earthquake case 1	19,396.5	9,807.0	9,558.5	13,694.6
	Earthquake case 2	19,396.5	35,502.0	2,380.0	35,581.7
P4	Maximum axial force	32,061.7	-	-	-
	Maximum bending moment	25,108.6	9,271.3	58,587.4	59,316.4
	Maximum eccentric	19,314.3	9,102.8	57,572.4	58,287.5
	Earthquake case 1	19,314.3	10,731.0	59,362.5	60,324.6
	Earthquake case 2	19,314.3	35,600.0	17,822.4	39,812.0

○○교량의 교각 단면검토는 Table 2와 같이 부재력이 가장 크고 고정단 받침이 배치되는 P4 교각과 일방향 받침이

배치되는 교각중 가장 부재력이 큰 P3 교각에 대해서 소성설계를 검토하고 나머지 교각에 대해서는 받침배치가 같은 P3 교각과 유사한 거동을 보이는 것으로 가정하여 검토하였다(Table 3). 이에 대한 대표적인 P-M 상관도 검토 결과를 Fig. 10~12에 나타내었다.

Fig. 10 P-M Interaction diagram - P3(Elastic design + existing details: Maximum bending moment)

Fig. P-M Interaction diagram - P3(Plastic design + developed details: Maximum eccentric)

Fig. 12 P-M Interaction diagram - P4(Plastic design + developed details: Earthquake case 1)

(a) Flexure governed

(b) Compression governed

Fig. 13 Section determine by neutral axis locations

Table 4 Results for seismic analysis

Item		P (kN)	$M_{cl,y}$ (kN·m)	$M_{cl,z}$ (kN·m)	V_{cl} (kN)
P3	Earthquake case 1	19,396.5	29,421.0	28,675.4	949.0
	Earthquake case 2	19,396.5	106,506.0	7,140.0	3,043.0
P4	Earthquake case 1	19,314.3	32,193.0	178,087.4	4,296.0
	Earthquake case 2	19,314.3	106,800.0	53,467.1	3,411.0

중공교각의 단면은 극한상태에서의 중립축의 위치에 따라 Fig. 13과 같이 휨 지배단면 및 압축 지배단면으로 구분한다. 중립축 위치 검토결과 각 모멘트 M_x , M_y 에 대한 교축방향 중립축의 위치는 모멘트최대, 편심최대, 지진시 1에서는 중공벽체에 위치하므로 휨 지배단면이다. 지진시 2에서는 중공내부에 위치하여 압축지배이며, 교축직각방향에 대한 중립축의 위치는 모든 하중케이스에서 중공내부에 위치하여 압축 지배단면이다. 그리고 합성모멘트에 대한 중립축의 위치

도 모두 중공내부에 위치하여 압축지배이다. 압축지배시 심부구속 횡방향 철근량의 증가가 발생함으로 연성도 내진설계로 소성설계를 수행하여 결과를 최적화 하였다.

교각의 구조형식과 지진저항시스템으로 인하여, 지진시 1를 교축방향 100%, 교축직각방향 30%로 하고, 지진시 2를 교축방향 30%, 교축직각방향 100%로 하여 지진해석한 결과는 Table 4와 같다.

소성설계에 의한 개발상세 기둥단면의 축력-휨강도 해석을 수행하여 P-M 상관도를 얻고 공칭휨강도와 설계휨강도를 구하였으며 중공 육각형 단면이므로 강축과 약축에 대해 각각의 소요 연성도를 독립적으로 산정하였다.

하중조합에 따른 지진시의 소요 응답수정계수 및 소요 변위연성도는 Table 5, 6과 같다. P3 교각은 지진시 2의 교축방향에 대하여 심부구속 횡방향 철근량을 계산하고, 교축직각방향에 대해서는 주철근 지름의 6배 이하로 횡방향철근을 배근한다. P4 교각은 지진시 1의 교축방향과 지진시 2의 교축직각방향에 대하여 심부구속 횡방향철근량을 계산한다. 이때 중공 교각의 심부구속 횡방향철근의 총 소요단면적 A_{sh}

Table 5 Required displacement ductility (P3)

Item		P (kN)	M_{cl} (kN·m)	M_n (kN·m)	ϕM_n (kN·m)	Required response modification factor R_{req}	Required displacement ductility $\mu\Delta$
Earthquake case 1	Longitudinal	19,396.5	29,421.0	62,058.2	62,058.2	0.47	0.47
	Transverse		28,675.4	67,416.8	67,416.8	0.43	0.43
Earthquake case 2	Longitudinal	19,396.5	106,506.0	71,932.2	71,932.2	1.48	1.48
	Transverse		7,140.0	18,894.6	18,894.6	0.38	0.38

Table 6 Required displacement ductility (P4)

Item		P (kN)	M_{cl} (kN·m)	M_n (kN·m)	ϕM_n (kN·m)	Required response modification factor R_{req}	Required displacement ductility $\mu\Delta$
Earthquake case 1	Longitudinal	19,314.3	178,087.4	86,110.6	86,110.6	2.07	2.07
	Transverse		32,193.0	65,408.3	65,408.3	0.49	0.49
Earthquake case 2	Longitudinal	19,314.3	53,467.1	94,827.6	94,827.6	0.56	0.56
	Transverse		106,800.0	71,932.2	71,932.2	1.48	1.48

Table 7 Confinement reinforcement

P3		Longitudinal	Transverse
Required reinforcement $A_{sh}(\text{mm}^2)$		2,610.5	6 times diameter of longitudinal reinforcement
Select reinforcement (mm^2)	triangular cross-ties	H13-20EA=2,534.0	H13-10EA=1,267.0
	cross-ties	H16-2EA=397.2	H16-2EA=397.2
	Total	2,931.2	1,664.2
P4		Longitudinal	Transverse
Required reinforcement $A_{sh}(\text{mm}^2)$		3,932.7	1,031.6
Select reinforcement (mm^2)	triangular cross-ties	H16-20EA=3,972.0	H16-10EA=1,986.0
	cross-ties	H16-2EA=397.2	H16-2EA=397.2
	Total	4,369.2	2,383.2

(a) P3

(b) P4

Fig. 14 Column reinforcement details

는 4개의 면을 갖는 독립된 벽체로 간주하여 산정하며 그 결과는 Table 7과 같다.

마지막으로 연성 파괴메커니즘을 확보하기 위한 설계 및 검토로서, 지진 저항 교각의 최대 소성힌지력을 구하고 탄성

지진전단력과 비교하여 최대 소성힌지력과 교축방향 탄성전단력 중 작은 값 이상의 설계강도를 갖도록 기둥의 전단설계를 수행하였다. 또한 기둥이 산정된 설계전단력 이상의 설계전단강도를 보유하고 있음을 확인하였다.

Table 8 Column reinforcement

Item		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	전체
Column height (mm)		23.7	39.0	39.0	39.0	37.5	33.6	16.2	228.0
Elastic design (mm ³)	Longitudinal reinforcement	1.441	2.844	2.844	2.371	2.280	2.043	0.985	14.808
	Transverse reinforcement	0.651	1.071	1.071	1.071	1.030	0.923	0.445	6.261
	Total	2.092	3.915	3.915	3.442	3.310	2.966	1.430	21.069
Plastic design (mm ³)	Longitudinal reinforcement	1.273	2.512	2.512	2.512	2.014	1.805	0.870	13.497
	Transverse reinforcement	0.733	1.206	1.206	1.372	1.160	1.039	0.501	7.216
	Total	2.006	3.718	3.718	3.884	3.174	2.844	1.371	20.714
Comparison of elastic design		4.1% (▽)	5.0% (▽)	5.0% (▽)	12.8% (△)	4.1% (▽)	4.1% (▽)	4.1% (▽)	1.7% (▽)

Table 9 Economic evaluation

Item	Elastic design + Existing details		Plastic design + Developed details		Etc.
Reinforcement	165.4 tonf	199 million won (1.00)	162.6 tonf	195 million won (0.98)	1.7% (▽)
Concrete	1,216m ³	219 million won	1,216m ³	219 million won	-
Bearing	Seismic isolator bearing 7000kN - 4EA 12000kN-14EA	341 million won (1.00)	Pot bearing 7000kN - 4EA 12000kN-14EA	171 million won (0.50)	50% (▽)
Total	759 million won (1.00)		585 million won (0.77)		23% (▽) (174 million won)

4.3 경제성 평가

○○ 교량의 중공교각은 지진시 지배가 아닌 상시(풍하중) 지배 구조이어서 탄성설계된 단면을 소성설계시에도 동일한 단면을 적용하였으며 이에 따라 콘크리트 물량의 변동은 없었다.

탄성설계 및 소성설계에 의한 결과는 Fig. 14와 같으며 각 교각별 철근량 비교는 Table 8과 같다. 물량 산출시 일반구간과 소성구간을 단위길로 산출한 뒤, 각 교각 높이에 적용하여 개략적으로 물량을 산출하였다.

이 경제성평가에서는 기존의 탄성설계 개념을 개선하여 소성설계의 특성을 최대한 발휘하게 함으로써, 철근량 뿐만 아니라 고가의 지진격리받침의 설계 물량을 최적화하여 추가적인 경제성 향상을 도모하였다. 이와 같이 소성설계 개념을 도입하고 개발상세를 적용함으로써 물량 최적화를 유도하였으며, P4 교각을 제외한 각 교각별 4.1%~5.0%의 철근량 감소와 전체 교각에서 기존 탄성설계 대비 약 1.7% 정도의 철근량 감소 효과를 가져왔다. 또한 탄성설계시의 지진격리받침을 소성설계 적용시 일반 포트받침으로 변경하여 경제성을 최적화하였으며 그 결과를 Table 9에 나타내었다.

일반적으로 교각은 지진시 지배 구조이며, 이러한 경우 철

근량 뿐만 아니라 단면도 큰 감소효과를 나타내고 있다. 그러나 이 연구의 적용 예인 ○○교량은 지진시 지배구조가 아닌 풍하중에 의해 하부구조의 단면이 결정되는 시스템으로서 소성설계에 의한 경제성 증대효과가 크게 발현되지는 않았음에도 1.7%의 철근물량 저감과 하부구조 전체(받침포함, 기초 제외) 공사비의 23%의 절감효과를 확인하였다. 만약 교량 하부구조의 거동 특성이 지진에 의해 지배되는 일반적인 경우 추가적인 경제성 확보 효과가 기대된다.

이 연구를 통해 소성설계에 의한 물량저감 철근상세를 갖는 중공 철근콘크리트 교각의 경제성을 확인할 수 있었으며, 이러한 상세의 적극적인 적용은 향후 국내외 교량의 경제성 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

이 연구에서는 중공단면 교각의 횡방향 철근을 외측 횡철근과 보강 횡철근에 의한 삼각 구도로 구성하여 내측 횡철근의 생략 내지 감축을 실현한 새로운 물량저감 중공 철근콘크리트 교각 시스템의 전용 설계프로그램을 개발하였으며 적용에 소성설계를 반영하였다. 이러한 설계 및 경제성 평가 결과로부터 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 별도의 프로그램 없이 단면 안정성 검토가 가능하며 도로교 설계기준, AASHTO LRFD, Eurocode 등 국내외 설계 Code를 적용할 수 있으며 주로 많이 사용하는 사각형, 원형, 육각형, 팔각형, 트랙형 단면의 검토가 가능한 물량저감 중공 철근콘크리트 교각 전용 설계프로그램 CalPM-SHC를 개발하였다.
- 2) 개발된 물량저감 철근상세의 적용을 통해 그 타당성이 확인되었으며 경제적인 중공 단면의 도출로 중공교각의 물량감축을 실현할 수 있고 이에 따라 시공원가를 절감하고 탄소배출을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 또한 배근작업이 불편한 내측 횡철근을 생략 내지 감축할 수 있기 때문에 시공과정에서 철근 배근의 시공성을 향상시킬 수 있으며, 나아가 공기 단축을 실현할 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) 개발기술의 적용 등을 통하여 물량저감 철근상세를 갖는 중공원형 철근콘크리트 교각의 전체적인 설계 및 시공기법을 완성할 수 있었으며 이를 통해 실무자를 위한 설계 및 시공지침을 제시하였다.
- 4) 물량저감 철근상세를 갖는 중공 철근콘크리트 교각의 내진설계법을 개발하기 위한 연구자료를 제공함으로써 성능기반 내진설계개념에 접목하여 합리적이고 경제성 있는 차세대 내진설계법의 개발 등에 유용하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

Reference

AASHTO (2012) *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*, 6th Edition, AASHTO, Wahington DC, p.1661.

CEN (Comite European de Normalisation) (2004) Eurocode 2: EN 1992-1: Design of Concrete Structures. Part 1: General Rules and Rules for Buildings, CEN, Brussels, Belgium.

Cho, H.D., Lee, S.G., Park, J.Y., Han, S.H. (2000) Development of Optimum Design Program for Reinforced Concrete Continuous Beam using Graphic

User Interface System, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 13(1), pp.1~11.

Chung, Y.S., Han, G.H., Lee, K.K., Lee, D.H. (1999) Quasi-static Test for Seismic Performance of Circular Hollow RC Bridge Pier, *J. Earthquake Eng.*, 13(3), pp.41~53.

Kim, I.H., Sun, C.H., Shin, M.S. (2012) Concrete Contribution to Initial Shear Strength of RC Hollow Bridge Columns, *Struct. Eng. & Mech.*, 41(1), pp.43~65.

Kim, T.H., Choi, J.H., Lee, J.H., Shin, H.M. (2013a) Performance Assessment of Hollow RC Bridge Column Sections with Reinforcement Details for Material Quantity Reduction, *Mag. Concr. Res.*, 65(21), pp.1277~1292.

Kim, T.H., Lee, J.H., Shin, H.M. (2013b) Development of Hollow Reinforced Concrete Bridge Column Sections with Reinforcement Details for Material Quantity Reduction, *J. Earthquake Eng.*, 17(3), pp.107~115.

Kim, T.H., Lee, J.H., Shin, H.M. (2014) Hollow I. Development and Verification, *J. Earthquake Eng.*, 18(1), pp.1~8.

Korea Concrete Institute (2012) *Concrete Structural Design Code*. Seoul,

Ministry of Construction and Transportation (2010) Korea Highway Bridge Design Code.

Sun, C.H., Kim, I.H. (2009) Seismic Characteristics of Hollow Rectangular Sectional Piers with Reduced Lateral Reinforcements, *J. Earthquake Eng.*, 13(3), pp.51~65.

Yeh, Y.K., Mo, Y.L., Yang, Y. (2002) Seismic Performance of Rectangular Hollow Bridge Columns, *J. Struct. Eng.*, ASCE, 128(1), pp.60~68.

Zahn, F.A., Park, R., Priestely M.J.N. (1990) Flexural Strength and Ductility of Circular Hollow Reinforced Concrete Columns without Confinement on Inside Face, *ACI Struct. J.*, 87(2), pp.156~166.

요 지

이 연구에서는 물량저감 철근상세를 갖는 중공 철근콘크리트 교각 시스템의 전용 설계프로그램과 소성설계 적용 결과를 제시하였다. 개발된 물량저감 철근상세는 경제성과 합리성을 갖으며 공사기간의 단축을 가져올 수 있다. 물량저감 중공 철근콘크리트 교각의 적용을 통해 경제성 평가를 수행하였다. 평가 결과 개발상세가 기존상세에 비해 구조적 합리성, 시공성, 그리고 경제성 등이 우수함을 확인하였다.

핵심용어 : 물량저감, 철근상세, 중공, 교각, 설계프로그램, 소성설계, 경제성, 시공성