

## 프리캐스트 조인트 방법을 사용한 부벽식 옹벽의 구조적 안정성에 대한 수치해석 연구

### Numerical study on the structural stability of the precast joint buttress wall

Joonseok Kim<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of civil and environmental engineering, Chungwoon University, 113 Sukgol-ro, Nam-gu, Incheon, 402-803, Republic of Korea

---

#### ABSTRACT

Recently in case of the concrete retaining wall precast technological change in the field assembled by the way. A precast wall is devied into upper and lower respectively, and the way, assembled in field is being performed. But the assembled part could have been damaged by the earth pressure in a relatively high buttress wall. And, it have been pointed out that large-scale disaster can be occurred. Thus, in this thesis, a structural stability for the buttressed retaining wall with pre-cast joint method was analyzed by a numerical analysis method. The structural stability of the three height retaining wall( 7.6m, 8.5m, 10m) was conducted respectively for earth pressure. The maximum principal stress applied to the concrete retaining wall was analyzed to occur locally in the vicinity of the fixing anchor as 23.3 ~ 43.2 MPa.

최근에 콘크리트옹벽의 경우 현장제작 방식에서 프리캐스트 생산에 의한 현장 조립방식으로 기술적 변화가 시도되고 있다. 프리캐스트 옹벽을 상부와 하부로 나누어 각각 생산한 후에 현장에서 조립되는 방법이 사용되고 있다. 그러나, 비교적 높은 부벽식옹벽에 토압이 작용하면 조립부분이 파손될 수 있으며, 대형 재난으로 이어질 수 있다는 문제점이 지적되어 왔다. 따라서, 본 논문에서는 프리캐스트 조인트방법(PC joint method)을 사용한 부벽식 옹벽의 구조적 안정성에 대하여 수치해석적 방법으로 분석하였다. 3가지 높이의 옹벽( 7.6m, 8.5m, 10m)에 대하여 배면 토압에 대한 구조적 안정성에 대하여 분석하였다. 옹벽 콘크리트에 가해지는 최대 주응력은 23.3~43.2 MPa로서 앵커의 정착주변에서 국부적으로 발생하는 것으로 분석되었다.

---

#### KEYWORDS

buttress wall  
concrete retaining wall  
earth pressure  
precast  
numerical analysis

---

부벽식옹벽  
콘크리트옹벽  
토압  
프리캐스트  
수치해석

---

© 2016 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

---

\* Corresponding author. Tel. 82-32-770-8191. Email. [jskim@chungwoon.ac.kr](mailto:jskim@chungwoon.ac.kr)

---

#### ARTICLE HISTORY

Recieved Sep. 21, 2016  
Revised Nov. 10, 2016  
Accepted Dec. 11, 2016

## 1. 서론

최근 기상이변으로 인한 집중호우 등으로 인하여 옹벽구조물이 갑작이 붕괴될 수 있는 가능성이 증대되고 있다. 우리나라는 산지가 많은 지형적 특징을 갖고 있기 때문에 부득이 옹벽구조물이 많이 사용되고 있다. 일반적으로 사용되었던 콘크리트 옹벽은 최근 사용이 증대되고 있는 보강토 옹벽과 함께 중요한 옹벽공법으로 사용되고 있다(S.D.Lee, 2011). 콘크리트옹벽의 적용범위는 중력식옹벽은 1.5~4.0m, 반중력식 옹벽은 2.0~4.0m, 캔틸레버형 옹벽(L형,역T형)은 3.0~8.0m, 부벽식 옹벽은 8.0m 이상으로 구분하여 적용한다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport , 2008). 콘크리트옹벽의 경우 현장제작 방식에서 프리캐스트 생산에 의한 현장 조립방식으로 기술적 변화가 시도되고 있다. 특히, 8m 이상에서 사용되는 부벽식 옹벽의 경우에는 프리캐스트로 생산된 전면부를 운반하기 어렵기 때문에 옹벽을 상부와 하부로 나누어서 프리캐스트로 생산한 후에 각각 운반하여 현장에서 조립하는 방법이 시도되고 있다. 그러나, 비교적 높은 부벽식 옹벽의 경우 큰 토압이 작용하기 때문에 조립된 연결부분이 안전에 취약할 수 있으며, 조립부분이 파손되면 대형 재난으로 이어질 수 있다. 또한, 지능형 시스템 아키텍처를 통한 전체적인 조립 시스템 차원에서 수립되는 환경이 증가되고 있다(Yoon,2016).

따라서, 본 논문에서는 프리캐스트 조인트방법(precaster joint method)을 사용한 부벽식 옹벽이 현장에 적용되었을 경우 벽체의 구조적 안정성에 대한 거동분석을 수치해석적 방법으로 수행하였다. 본 연구에서는 옹벽높이 7.6m, 8.5m, 10m 등 3가지 높이의 옹벽에 대하여 배면 토압에 대한 구조적 안정성에 대하여 분석을 수행하였다. 본 연구의 대상인 부벽식 프리캐스트옹벽은 그림1과 같이 2개의 구조체(A-ZONE, B-ZONE)를 프리캐스트로 제작한 후에 현장에서 연결하여 합성하는 방식으로서 부벽 뒷부분에 강봉을 설치하여 A-ZONE과 B-ZONE을 연결함으로써 배면 토압에 의하여 발생하는 인장력에 저항하도록 하는 옹벽 구조체이다. 따라서, 부벽식 PC옹벽의 경우 배면으로부터 토압을 받을 경우 부벽에 설치되어 있는 연결앵커가 인장 파괴될 가능성과 인장재 주변 콘크리트의 압축파괴 가능성이 가장 중요한 문제라고 판단된다(Mazindrani, Z.H.외,1997).

따라서, 본 연구에서는 옹벽을 이루고 있는 주재료인 콘크리트부분의 파괴여부와 함께 부벽에 설치되어 있는 연결앵커의 인장파괴 가능성에 대하여 유한요소법을 이용한 수치해석을 수행하고 결과분석을 실시하였다.

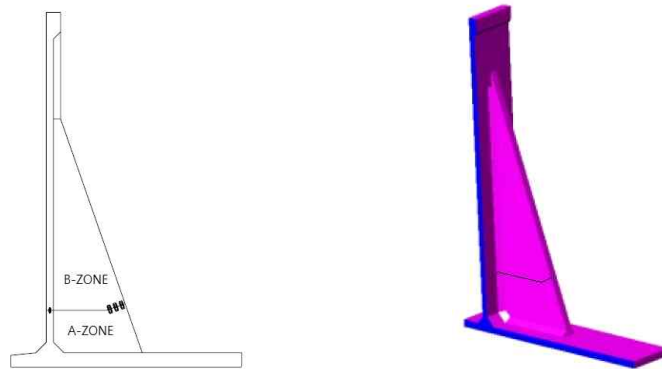


Fig. 1. A buttressed retaining wall unit with precast joint connection method(PC Joint method)

## 2. 수치해석

### 2.1 해석 모델 구성

본 논문에서는 유한요소법을 이용한 수치해석을 그림2,3과 같이 실시하였다. 사용된 프로그램은 다양한 요소(Beam, Plate, Shell, Brick, Cable 요소 등)를 사용하여 3차원 구조물의 모델링을 할 수 있는 호주 G+D Computing Pty Ltd.사가 개발한 3차원 유한요소해석(FEA) 프로그램인 STRAND7을 사용하였다(Strand7, 2012). 일반적으로 콘크리트 옹벽으로서는 비교적 높은 편에 속하는 7.6m, 8.5m, 10m 높이의 옹벽 모델에 대하여 표1과 같이 상시와 지진시의 경우로 나누어 유한요소해석을 수행하였다.

Table 1. Outline of finite element analysis model

옹벽높이	7.6m	8.5m	10m
절 점 수	8,960	9,488	11,334
보 요 소	164	164	164
입체요소	7,540	7,868	9,276

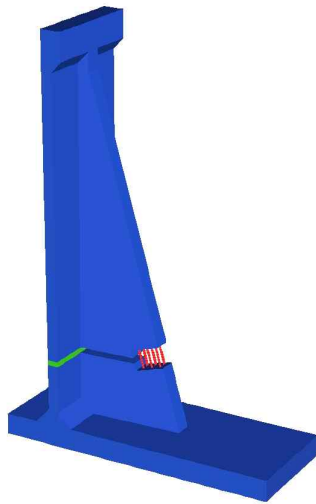


Fig. 2. Retaining wall unit for analysis

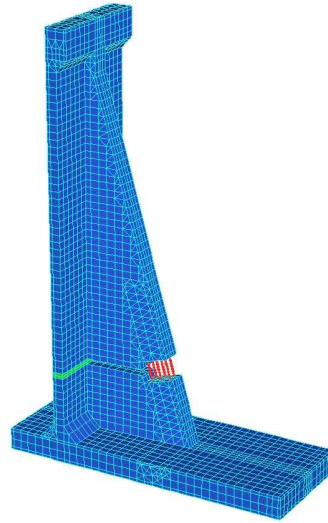


Fig. 3. Numerical analysis 3-D elements of retaining wall

2.1.1 옹벽구체의 단면제원

옹벽의 높이는 일반적으로 높은 옹벽에 속하는 7.6m, 8.5m, 10m 로 설정하였으며, 세그먼트길이는 단위길이를 사용하였다. 뒤채움 토사구배는 비교해석상의 문제가 발생될 수 있으므로 수평조건으로 설정하였다. 본 연구에서는 일반적으로 적용하고 있는 상황을 재현하기 위하여 연결앵커로 H38 철근을 6개 설치하도록 그림4,5와 같이 모델하였다. 따라서, 토압으로부터 전달 되는 인장력을 6개의 H38 철근 연결앵커가 받도록 하였으며, 단면의 제원은 표2와 같다.

Table 2. Dimension of retaining wall unit with according to the height

구분	H(m)	h1(m)	h2(m)	h3(m)	B(m)	b1(m)	b2(m)	b3(m)	b4(m)
H=7.6m	7.6	0.35	1.2	5.0	0.8	0.2	1.6	2.4	1.75
H=8.5m	8.5	0.4	1.2	5.4	1.0	0.2	2.0	2.2	1.7
H=10.0m	10.0	0.45	1.2	5.9	1.2	0.2	2.5	2.0	1.65

2.1.2 뒤채움 토사와 옹벽 기초지반 조건

뒤채움 토사는 우리나라의 현장에서 가장 일반적인 조건인 내부마찰각  $\phi = 30^\circ$  로 설정하였으며, 옹벽의 기초지반에서 해석상 문제를 일으키면 해석의 의미가 달라질 수 있기 때문에 옹벽을 완벽하게 지지하고 있는 조건을 설정하였다.

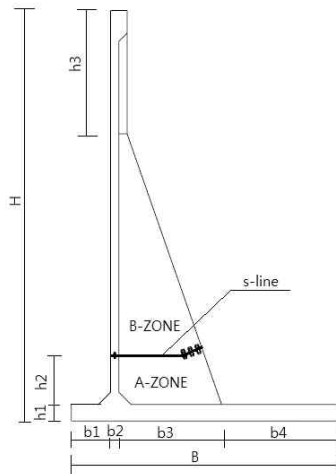


Fig. 4. Dimension of retaining wall unit

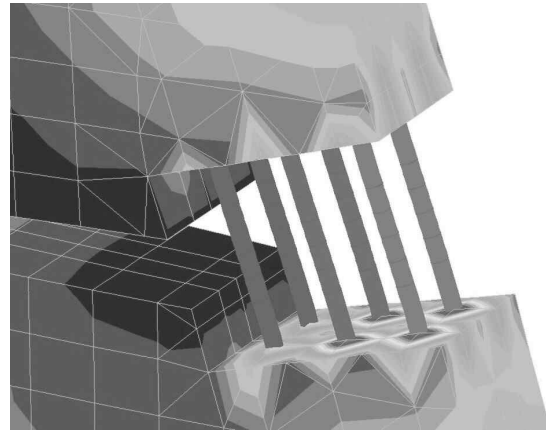


Fig. 5. Connecting anchor

### 2.1.3 토압계수와 각종계수의 설정

본 연구에서는 표3과 같이 지진이 발생하지 않은 상시의 경우 옹벽의 벽체에서 흙과 벽체의 마찰력을 고려할 수 있는 Coulomb의 토압계수(식1)를 사용하였으며(Braja M.Das, 2012), 지진이 발생한 지진시에는 Mononobe-Okabe 의 토압공식(식 2)을 적용하였다(Okabe, 1926). 결과는 표4에 정리하였다. 지진의 경우에는 지진 1등급 기준을 적용하였으며, 유사정적해석방법으로 분석을 수행하였다.

Table 3. Theory of earth pressure coefficients to apply for at regular and earthquake

구 분	상시와 지진시 적용이론
상시 토압계수 적용식 (Coulomb이론)	$K_A = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2 \theta \cos(\theta + \delta) \left[ 1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \cos(\theta - \alpha)} \right]^2}$
지진시 토압계수 작용식 (Mononobe-Okabe 이론)	$K_{EA} = \frac{\cos^2(\phi - \theta_0 - \beta)}{\cos \theta_0 \cdot \cos \beta \cdot \cos(\delta + \beta + \theta_0) \cdot \left[ 1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \theta_0 - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta_0) \cdot \cos(i - \beta)} \right]^2}$

Table 4. The applied results of earth pressure coefficients

조 건	상시	지진시
적용조건	$\phi = 30^\circ, \beta = 0, \delta = \frac{1}{3}\phi = 10^\circ$	$\delta_{eq} = 0.5\phi = 15^\circ$
토압계수	$K_{a(C)} = 0.308$ $K_h = 0.304, K_v = 0.054$	$K_{ae(C)} = 0.351$ $K_{ae(CH)} = K_{ae(C)} \cdot \cos(\delta_{eq}) = 0.339$ $K_{ae(CV)} = K_{ae(C)} \cdot \sin(\delta_{eq}) = 0.091$

### 3. 수치해석 결과 및 분석

본 논문에서는 2장에서 제시된 수치해석 모델을 이용하여 수치해석을 실시하였으며 각각의 옹벽에 대하여 상시와 지진시에 대하여 결과가 도출되었다.

#### 3.1 옹벽의 높이별 해석결과

상시에서는 부벽에 설치되는 앵커부에 작용되는 최대인장력은 7.6m, 8.5m, 10.0m 모두 그림6과 그림7에서 표시된 가장 뒤쪽에 위치한 앵커에서 발생하였다. 콘크리트부분에서 작용되는 주응력은 앵커 정착주변에서 국부적으로 발생하였다. 옹벽의 상단 횡변위는 옹벽상단에서 최대값이 발생하였다. 지진시에서도 부벽에 설치되는 앵커부에 작용되는 최대인장력은 7.6m, 8.5m, 10.0m 모두 가장 뒤쪽에 위치한 앵커에서 발생하였으며, 콘크리트부분에서 작용되는 주응력도 앵커의 정착주변에서 국부적으로 발생하였다. 옹벽의 상단 횡변위 역시 옹벽상단에서 발생하였다. 해석결과는 표5에 정리 하였다.

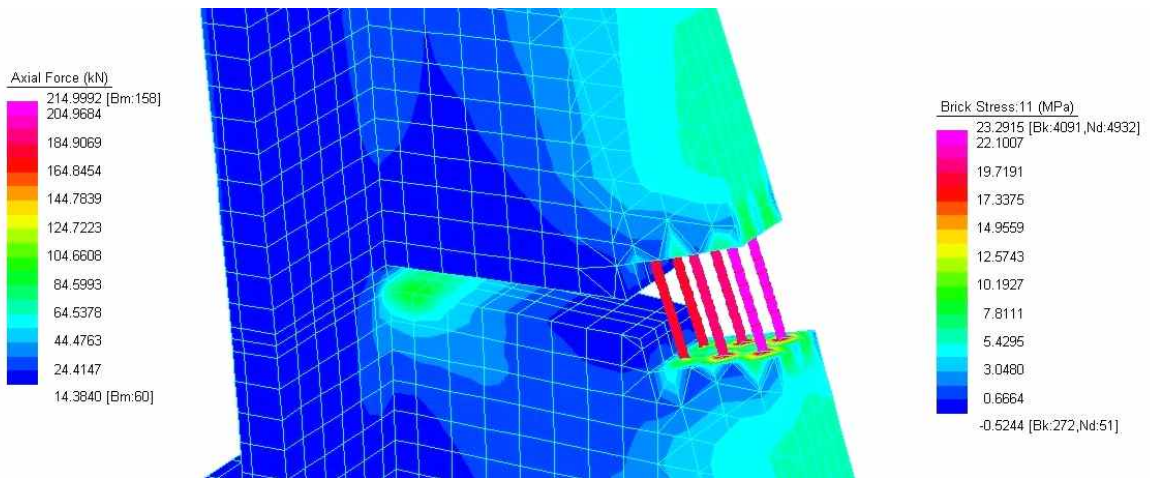
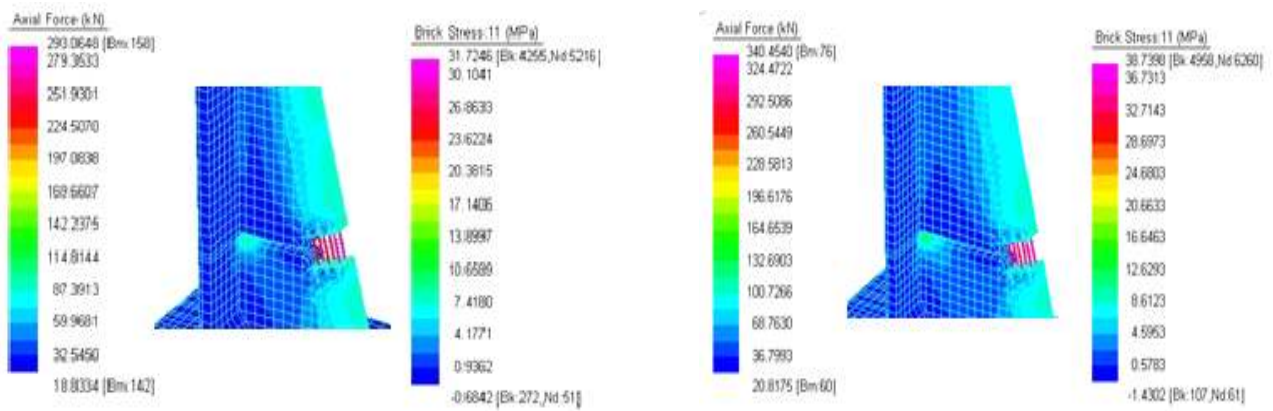


Fig. 6. The analysed picture on around the anchor for 7.6m height and normally condition



(a) 8.5m height

(b) 10.0m height

Fig. 7. The analysed picture on around the anchor for 8.5m, 10.0m height and normally condition

Table 5. The analysis results from retaining wall height

옹벽높이	7.6 m		8.5 m		10.0 m	
	상시	지진시	상시	지진시	상시	지진시
앵커축력(kN)	215.0	234.0	293.1	326.5	340.5	379.2
콘크리트 주응력(MPa)	23.3	26.0	31.7	35.4	38.8	43.2
최대수평변위(mm)	5.5	6.1	10.7	11.9	11.7	13.0

### 3.2 해석결과 분석

수체해석 결과를 이용하여 옹벽구조체의 안정성을 분석하였다. 옹벽구조체의 안정성은 토압작용시 가장 문제가 될 수 있는 부분인 부벽에 설치되는 연결앵커의 인장파괴 가능성과 주재료인 콘크리트 부분의 파괴가능성에 대하여 분석하였다.

#### 3.2.2 부벽에 설치되는 연결앵커의 인장파괴 가능성분석

부벽에 설치되는 연결앵커는 프리캐스트 조인트연결 방식의 옹벽에서 가장 핵심 기술부분으로서 배면으로부터 토압이 작용할 때 옹벽이 토압방향으로 꺾이지 않도록 옹벽을 지탱하는 핵심부분이다. 이 연결앵커는 인장력에 저항해야 한다. 본 공법에서는 연결앵커로 H38 철근을 6개 설치하도록 설계되어 있다.(그림6의 DS1) 따라서, 6개의 H38 철근 연결앵커가 토압으로부터 전달되는 인장력을 견디어야 한다.

아래 표6에서 연결앵커에 작용하는 축력은 215.0 ~ 379.2kN 으로 분석되었다. 따라서, 이 축력은 옹벽에 설치되는 6개의 앵커(H38)에 전달된다. 축력에 의해 앵커에 가해지는 응력은 31.61~55.75 MPa 로서 표7에 정리하였다. 앵커의 설계강도가 400MPa 이므로 설계강도기준(400MPa) 안전율은 7.2 ~ 12.7 로서 매우 안전한 것으로 분석되었다.

Table 6. Axial force, tensile stress and safety factor for the anchor connection

옹벽높이	7.6m		8.5m		10m	
	상시	지진시	상시	지진시	상시	지진시
앵커축력(kN)	215.0	234.0	293.1	326.5	340.5	379.2
앵커응력(MPa)	31.61	34.41	43.10	48.01	50.00	55.75
안전율 (설계강도 400MPa 기준)	12.7	11.6	9.3	8.3	8.0	7.2

#### 3.2.3 콘크리트 부분의 파괴가능성 분석

옹벽이 토압을 받아 콘크리트 부분이 파괴가 일어날 가능성이 있다. 따라서, 본 연구에서는 콘크리트 부분의 파괴가능성을 분석하였다. 옹벽에 토압이 가해질 경우 옹벽에 가해지는 최대 주응력은 23.3~43.2 MPa로서 앵커의 정착주변에서 국부적으로 발생하는 것으로 분석되었다. 콘크리트의 설계강도는 설계기준에 따라 차이가 있으므로 본 연구에서는 도로옹벽표준도 (Ministry of Land, Infrastructure and Transport,2008) 기준으로 평가하였다. 국토해양부 도로옹벽표준도에서 역T형 및 L형 옹벽의 콘크리트설계강도 24MPa을 기준으로 할 경우 옹벽 7.6m ~ 10.0m의 옹벽에서 안전율 0.56~1.03으로 안전에 문제가 있는 것으로 분석되었다.

Table 7. Principal stress (MPa) occurred in concrete

옹벽높이	7.6m		8.5m		10m	
	상시	지진시	상시	지진시	상시	지진시
콘크리트 주응력(MPa)	23.3	26.0	31.8	35.4	38.8	43.2
안전율 (설계강도 24MPa 기준)	1.03	0.92	0.75	0.68	0.62	0.56

#### 4. 결론

본 논문에서는 프리캐스트 조인트 연결 방법(PC Joint method)을 사용한 부벽식 프리캐스트옹벽이 현장에 적용되었을 경우 벽체의 구조적 안정성에 대한 거동분석을 수치해석적 방법으로 수행하였다. 본 거동 분석에서는 옹벽높이 7.6m, 8.5m, 10m 등 3가지 높이의 옹벽에 대하여 배면 토압에 대한 옹벽의 구조적 안정성에 대하여 분석을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 부벽에 설치되는 연결앵커는 배면으로부터 토압이 작용할 때 옹벽이 토압방향으로 꺾이지 않도록 옹벽을 지지하는 핵심부분이다. 이 연결앵커는 토압에 의하여 가해지는 인장력에 저항해야 한다. 따라서, 6개의 H38 철근 연결앵커에 작용하는 응력은 31.61~55.75 MPa 로서, 앵커의 설계강도가 400MPa 이므로 설계강도기준(400MPa)에 대한 안전율은 12.7 ~ 7.2 로서 매우 안전한 것으로 분석되었다.

(2) 옹벽에 토압이 가해질 경우 콘크리트 부분에 가해지는 최대 주응력은 23.3~43.2 MPa로서 앵커의 정착주변에서 국부적으로 발생하는 것으로 분석되었다. 콘크리트의 설계강도는 설계기준에 따라 약간의 차이가 있으나 도로옹벽표준도(Ministry of Land, Infrastructure and Transport,2008) 기준에서 역T형 및 L형 옹벽 기준인 콘크리트설계강도 24MPa을 기준으로 할 경우, 옹벽이 토압을 받아 콘크리트 부분이 파괴가 일어날 가능성이 있는 것으로 분석되었다. 즉, 안전에 심각한 문제가 발생할 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서, 8m ~ 10m 의 부벽식 옹벽의 프리캐스트 조인트 연결방식의 옹벽시공에서 콘크리트의 설계강도는 별도의 기준이 필요한 것으로 분석되었다.

(3) 재난대비를 위하여 국내에 설치된 8m이상의 프리캐스트 조인트 연결 방식의 부벽식 옹벽에 대하여 콘크리트 강도에 대한 안전연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 논문은 2016년도 청운대학교 학술연구조성비의 지원에 의해 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

#### References

- Byoungjo Yoon(2016), "ITS System Architecture based upon Object-oriented Methodology", Journal of Korea Society of Disaster Information Vol.12 No.1 pp.105 - 115.
- S.D.Lee (2011), "Foundation Engineering", Saeron Book publishing , pp.229~231.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2008), "Standard road Wall(Design criteria and standards too)", Gwapyun the highway, pp.10.
- Mazindrani, Z.H., and Ganjali,M.H. (1997), "Lateral earth pressure problem of Cohesive backfill with inclined surface", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.123, No.2,pp.110~112.
- Braja M. Das, (2012), "Principles of geotechnical Engineering", seventh edition, SI edition, Cengage Learning, pp.466~469.
- Okabe, S. (1926), "General theory of earth pressure", Journal of the Japan society of civil engineers, Tokyo, Vol.12, No.1.
- Strand7 (2012), " ST7-1.80.10.1 Strand7 Manual". G+D Computing Pty Ltd.