

콘크리트용 후설치 세트앵커의 매입깊이 및 콘크리트 강도에 따른 인발특성에 관한 실험적 연구

숫러타¹, 유승운^{1*}
¹관동대학교 토목공학과

An Experimental Study on Pullout Characteristics of Post-installed Set Anchor for Concrete Under Embedment Depth and Concrete Strength

Ratha Suth¹ and Seung-Woon Yoo^{1*}

¹Department of Civil Engineering, Kwandong University

요 약 최근 많은 교량들이 점증하는 교통량에 의해 상부슬래브 폭이 부족해지거나 침식으로 인해 하부구조가 구조적으로 취약해지는 경향이 있다. 이 경우 상부슬래브나 교각을 확장하여 보강하는 것이 경제적이기 때문에 실험 자료와 현장의 시공경험 등을 통해 교량의 적절한 확장방안을 확립할 필요가 있다. 그렇지만, 후설치 콘크리트 세트앵커를 사용하여 교량의 하부구조를 보수. 보강하는 경우 신규 콘크리트의 일체성 확보와 관련된 기존 실험자료는 매우 부족한 실정이며, 이에 따라 후설치 콘크리트 세트앵커를 사용하여 구조적인 일체성을 확보하기 위한 실험적인 연구가 매우 시급하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 매입깊이 및 콘크리트 강도를 변수로 한 후설치 콘크리트 세트앵커의 인발파괴실험을 통하여 무근콘크리트에 매입된 후설치 세트앵커의 인발특성에 미치는 영향을 규명하는 것을 그 목적으로 한다. 매입깊이에 따른 영향은 콘크리트 강도가 클수록 최대 인발하중도 크다는 것을 알 수 있다. 콘크리트 강도에 상관없이 매입깊이 변수가 6배 이하인 경우 모두 콘크리트 파괴가 발생한 것으로 보아 매입깊이 변수가 8배 이상일 경우 파괴모드는 콘크리트 강도의 영향을 받지 않는 것으로 추정된다.

Abstract Recently, many bridges become not only functionally obsolete of bridge dick due to inadequate width but also structurally deficient of substructure due to erosion. In these case widening is almost always more economical than complete replacement, and therefore there is a need to make available the results of research and field experience pertaining to the widening of bridge substructure. But, an experimental study for the guarantee of unification between existing and new substructure with post-installed concrete set anchor is so insufficient that the development of post-installed concrete set anchor system for the unification should be settled promptly. The objective is to investigate the effects of anchor embedment depth and concrete strength on pullout characteristics of post-installed concrete set anchor embedded in plain concrete. The effects of embedment depth variable is depending on concrete strength as strong as concrete strength is pullout load is high. Regardless of concrete strength, embedment depth that less than 6 times appeared concrete failure mode but for embedment depth that over 8 times concrete strength has no affection on failure mode.

Key Words : Concrete Strength, Embedment Depth, Post-Installed Set Anchor

1. 서론

앵커시스템은 기기 및 배관 등을 콘크리트 구조물에

안전하게 정착시켜 하중을 전달하는데 널리 이용되고 있으며, 이와 같은 앵커시스템의 도입에 따른 유용성에 의 해 보다 다양한 형태의 콘크리트구조물 계획과 보다 효

*Corresponding Author : Seung-Woon Yoo(Kwandong Univ.)

Tel: +82-33-649-7513 email: swyoo@kd.ac.kr

Received July 15, 2012

Revised September 12, 2013

Accepted October 10, 2013

을적인 공간의 활용이 가능하게 되었다[1].

국외의 연구동향으로는 미국과 유럽에서 1980년대부터 앵커에 대한 많은 시험이 수행되었다. 미국은 ACI 349[2] 설계 기준을 토대로, 유럽에서는 독일 등에서 제시한 CCD(concrete capacity design)[3] 설계방법에 대해 시험을 수행하였다. 앵커의 콘파괴 발생시, 미국의 ACI 349 설계기준에서는 주로 연성적으로 파괴가 일어나도록 설계를 유도하며, 취성적인 콘크리트파괴를 막기 위해 원추형 모델이 소개되었다. 인장 하중에서 ACI 349 설계 기준은 45° 기울어진 원추형 파괴모양의 투영된 단면적에 균일한 인장응력이 작용한다고 가정하여 시험이 수행되었다. 독일 등 유럽에서 제시하고 있는 CCD 설계방법은 콘크리트의 인장응력, 파괴면적, 크기효과를 고려하였다. CCD 설계방법은 파괴면과 콘크리트면 사이가 35° 기울어져 파괴가 일어난다고 가정하여 내력을 평가한다[4,5].

국내에서 인장하중을 받는 중대형급 선설치 앵커볼트의 콘크리트파괴강도 평가를 위한 연구[6], 콘크리트 앵커의 인장파괴거동[7], 부착식 후설치 앵커로 연결된 내민보의 구조안정성에 대한 실험적 평가[8], 후설치 앵커의 성능평가와 해석모델[9] 연구가 진행되었다. 또한 콘크리트 매입 후설치 앵커의 인장 및 전단실험방법[10]과 같은 연구가 이루어졌다.

본 연구는 콘크리트용 후설치 앵커의 일종으로 가장 경제적인 앵커로 알려져 있는 세트앵커의 인발파괴 거동에 매입깊이 및 콘크리트 강도가 미치는 영향을 규명하는 것을 목적으로 한다.

2. 실험개요

2.1 실험시편 설계 및 제작

본 실험은 후설치 콘크리트 세트앵커시스템에 대한 부분적 실험으로서 직경 16mm 국내산 세트앵커를 사용하여 앵커의 매입깊이 변수는 4가지 경우로 실험하였고 앵커 직경의 10배인 160mm, 8배인 128mm, 6배인 96mm, 4배인 64mm 이었으며 28일 설계압축강도 18, 24 및 30MPa 콘크리트의 블록에서 인발실험을 수행하였다. Table 1은 실험체 일람표이며, 실험체 명명법은 다음과 같다.

T16-aa-bb-c, 여기서 aa는 세트앵커의 매입깊이, bb는 콘크리트의 강도, c는 실험체수를 나타낸다.

[Table 1] List of experiments

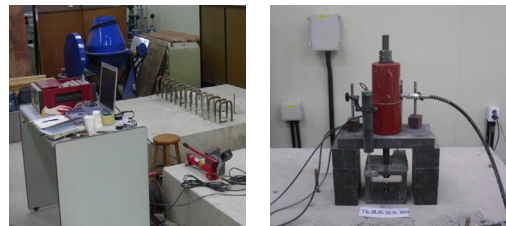
Name of experiment	No. of experiment	Embedment depth(mm)	Concrete strength(MPa)
T16-10-18-No	2	160	18
T16-08-18-No	2	128	18
T16-06-18-No	2	96	18
T16-04-18-No	2	64	18
T16-10-24-No	3	160	24
T16-08-24-No	3	128	24
T16-06-24-No	3	96	24
T16-04-24-No	3	64	24
T16-10-30-No	2	160	30
T16-08-30-No	2	128	30
T16-06-30-No	2	96	30
T16-04-30-No	2	64	30

2.2 실험방법

본 실험에서 모든 변수의 실험은 24MPa 콘크리트 블록(2.6mx2mx0.4m)에서 초기 실험을 하였으며 같은 변수로 18MPa, 30MPa 콘크리트 블록에서 실험하고 비교하였다. 타설된 콘크리트 블록에 앵커를 설치하기 위하여 적정 위치에 천공하고 앵커를 설치하였다[Fig. 1].



[Fig. 1] Test bed of experiment



[Fig. 2] Photo of experiment

하중은 하이드로릭 펌프(hydraulic pump)를 이용하여 재하하도록 계획하였으며, 하중을 측정하기 위해 로드셀(load cell)을 설치하였고, 앵커 변위를 측정하기 위하여 100mm LVDT를 2개 양쪽에 설치하였으며, 데이터로거를 이용하여 하중 및 변위량을 측정하였다[Fig. 2].

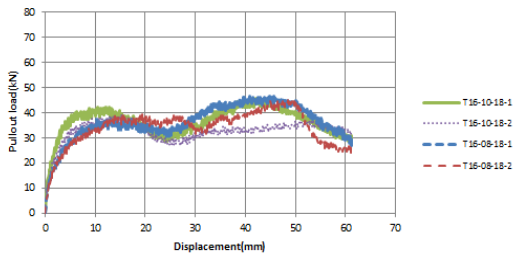
3. 실험 결과 및 분석

3.1 18MPa에서 매입깊이에 따른 실험

세트앵커의 매입깊이 10배인 경우 최대 인발하중이 42.00kN 이었으며 이 때 변위가 10.46mm 이었으며, 다른 매입깊이에 대한 결과치를 요약하면 Table 2와 같다.

[Table 2] Result of concrete strength 18MPa

Name of experiment	Pullout load(kN)	Displacement (mm)	Failure mode
T16-10-18-1	42.00	10.46	pullout
T16-10-18-2	39.20	15.25	pullout
T16-08-18-1	38.08	12.00	pullout
T16-08-18-2	39.48	13.96	pullout
T16-06-18-1	35.28	11.07	pullout+concrete
T16-06-18-2	37.80	11.19	pullout+concrete
T16-04-18-1	33.04	4.69	pullout+concrete
T16-04-18-2	31.08	8.47	pullout+concrete

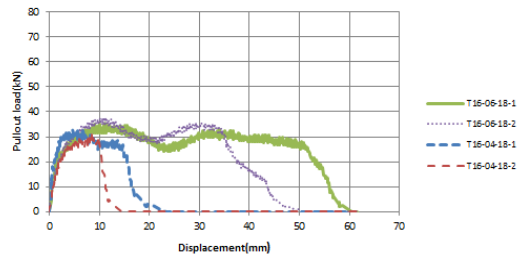


[Fig. 3] Pullout load-displacement curve 18MPa-1

Fig. 3은 매입깊이 10, 08배 경우의 실험결과 그림이다. T16-10-18-No 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과, 두 실험 모두 뽑힘 파괴가 발생하였지만 균열이 발생하지 않고 앵커도 완전히 뽑히지 않았다. 실험(1)은 실험(2)보다 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뽑혔고 앵커가 뽑히다가 다시 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뽑혀 올라오면서 하중이 다시 높게 증가하였다. T16-08-18-No 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과는 두 실험 모두 뽑힘 파괴가 발생하였지만 균열이 발생하지 않고 앵커도 완전히 뽑히지 않았다. 모두 실험은 앵커가 뽑히다가 다시 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뽑혀 올라오면서 하중이 다시 높게 증가하였으며 최대 인발하중 및 곡선이 거의 비슷하게 나타났다.

Fig. 4는 매입깊이 06, 04배 경우의 실험결과 그림이다. T16-06-18-No 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과, 실험(2)는 실험(1)보다 콘크리트 파괴 시의 변위가 더 작게

나타났지만 두 실험 모두 최대 인발하중이 비슷하게 나타났으며 뽑힘 및 콘크리트 파괴가 발생하였기 때문에 콘크리트 특성에 의한 차이로 판단된다. T16-04-18-No 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과는 실험(2)는 실험(1)보다 콘크리트 파괴 시의 변위가 더 작게 나타났지만 두 실험 모두 뽑힘 및 콘크리트 파괴가 발생하면서 균열이 발생하였고 앵커도 완전히 뽑혔다. 실험(1)은 실험(2)보다 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뽑혔고 균열도 늦게 발생하였으며 최대 인발하중이 더 크게 나타났다.



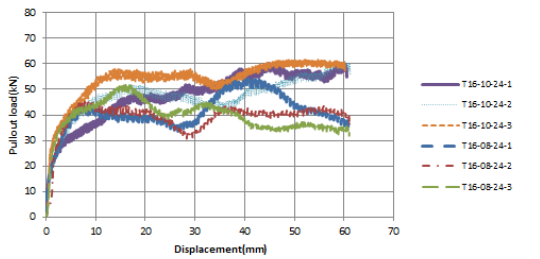
[Fig. 4] Pullout load-displacement curve 18MPa-2

3.2 24MPa에서 매입깊이에 따른 실험

세트앵커 매입깊이가 앵커 직경의 10배 실험의 경우 최대 인발하중은 42.00kN, 변위는 13.72mm 로 나타났으며, 다른 매입깊이에 대한 결과치를 요약하면 Table 3과 같다.

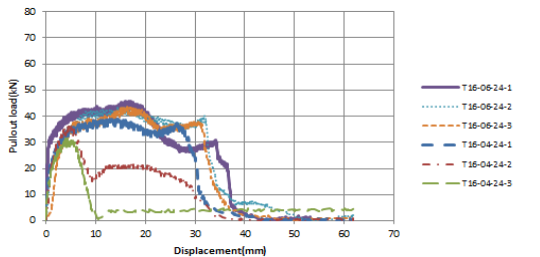
[Table 3] Result of concrete strength 24MPa

Name of experiment	Pullout load(kN)	Displacement (mm)	Failure mode
T16-10-24-1	42.00	13.72	pullout
T16-10-24-2	50.12	18.44	pullout
T16-10-24-3	45.92	16.53	pullout
T16-08-24-1	43.12	7.16	pullout
T16-08-24-2	45.36	9.09	pullout
T16-08-24-3	51.80	16.00	pullout
T16-06-24-1	45.92	17.12	pullout+concrete
T16-06-24-2	43.68	16.47	pullout+concrete
T16-06-24-3	43.68	16.04	pullout+concrete
T16-04-24-1	39.20	12.21	pullout+concrete
T16-04-24-2	36.68	4.70	pullout+concrete
T16-04-24-3	31.64	4.39	pullout+concrete



[Fig. 5] Pullout load-displacement curve 24MPa-1

Fig. 5는 매입깊이 10, 08배 경우의 실험결과 그림이다. T16-10-24-No 실험체의 실험(1), 실험(2), 실험(3)의 결과, 세 실험 모두 뽑힘 파괴가 발생하였지만 균열이 발생하지 않고 앵커도 완전히 뽑히지 않았다. 실험(1)은 슬리브와 앵커가 제일 빨리 같이 뽑히는 듯이 최대 인발하중이 제일 낮게 나타났다. 실험(2)는 실험(1)과 실험(3)보다 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뽑히는 결과를 보였으며 최대 인발하중이 제일 크게 나타났다. T16-08-24-No 실험체의 실험(1), 실험(2), 실험(3)의 결과, 세 실험 모두 뽑힘 파괴가 발생하였지만 균열이 발생하지 않고 앵커도 완전히 뽑히지 않았다. 실험(1)은 앵커가 뽑히다가 다시 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뽑혀 올라오면 하중이 다시 높게 증가하였다. 실험(3)은 실험(1)과 실험(2)보다 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뽑히는 결과를 보였으며 최대 인발하중도 제일 크게 나타났다.



[Fig. 6] Pullout load-displacement curve 24MPa-2

Fig. 6은 매입깊이 06, 04배 경우의 실험결과 그림이다. T16-06-24-No 실험체의 실험(1), 실험(2), 실험(3)의 결과, 세 실험 모두 뽑힘 및 콘크리트 파괴가 발생하면서 균열이 발생하였고 앵커도 완전히 뽑혔다. 실험(1)은 변위 17.12mm 일 때 콘크리트 내부에 균열이 발생하여 이후 하중이 감소하기 시작하였지만 실험(2)와 실험(3)보다 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뽑히는 결과를 보였으며 실험(1)은 최대 하중이 제일 크게 나타

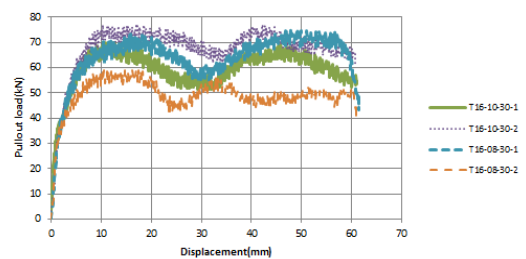
났다. T16-04-24-No 실험체의 실험(1), 실험(2), 실험(3)의 결과, 세 실험 모두 뽑힘 및 콘크리트 파괴가 발생하면서 균열이 발생했고 앵커도 완전히 뽑혔다. 실험(3)은 콘크리트 외부에 균열이 빨리 발생하며 최대 인발하중이 제일 낮게 나타났다. 실험(1)은 실험(2)와 실험(3)보다 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뽑히는 결과를 보였으며 균열도 늦게 발생하여 최대 인발하중이 제일 크게 나타났다.

3.3 30MPa에서 매입깊이에 따른 실험

세트앵커 매입깊이가 앵커직경의 10배 실험의 경우 최대 인발하중은 70.00kN 변위는 10.93mm로 나타났으며, 다른 매입깊이에 대한 결과치를 요약하면 Table 4와 같다.

[Table 4] Result of concrete strength 30MPa

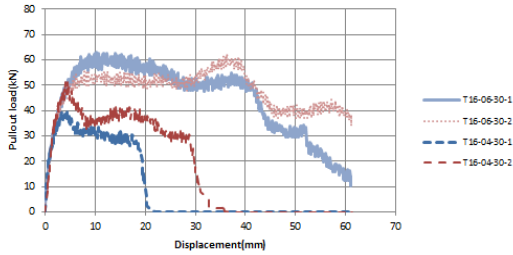
Name of experiment	Pullout load(kN)	Displacement (mm)	Failure mode
T16-10-30-1	70.00	10.93	pullout
T16-10-30-2	76.72	10.33	pullout
T16-08-30-1	73.08	15.89	pullout
T16-08-30-2	59.36	16.98	pullout
T16-06-30-1	63.00	10.36	pullout+concrete
T16-06-30-2	56.00	11.79	pullout+concrete
T16-04-30-1	39.76	3.40	pullout+concrete
T16-04-30-2	50.96	4.00	pullout+concrete



[Fig. 7] Pullout load-displacement curve 30MPa-1

Fig. 7은 매입깊이 10, 08배 경우의 실험결과 그림이다. T16-10-30-No 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과는 하중-변위 곡선이 비슷하게 나타났지만 실험(2)는 실험(1)보다 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뽑히는 결과를 보였으며 최대 인발하중이 더 크게 나타났다. T16-08-30-No 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과는 실험(1)은 실험(2)보다 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되

어 함께 뽑히는 결과를 보였으며 최대 인발하중이 약 19% 더 크게 나타났다.



[Fig. 8] Pullout load-displacement curve 30MPa-2

Fig. 8은 매입깊이 06, 04배 경우의 실험결과 그림이다. T16-06-30-No 실험체의 결과, 실험(1)은 실험(2)보다 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뽑히는 결과를 보였으며 최대 인발하중도 더 크게 나타났다. 실험(2)는 변위 43.45mm 일 때 균열이 발생하면서 하중이 감소하기 시작하였다. T16-04-30-No 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과, 두 개의 실험 모두 뽑힘 및 콘크리트 파괴가 발생하면서 균열이 발생하였고 앵커도 완전히 뽑혔다. 실험(2)는 콘크리트 외부에 균열이 빨리 발생하며 최대 인발하중이 가장 낮게 나타났다. 실험(1)은 변위 21.33mm 일 때 앵커가 완전히 뽑혔고 하중을 더 이상 받지 않았으며 콘크리트의 균열이 발생한 부분이 들리는 것을 관찰하였다. 실험(2)는 인발하중 19.88kN 경과 변위 29.86mm 일 때 콘크리트에서 소리가 들렸으며 앵커 구멍 아래쪽과 실험체 앞부분에 균열이 관찰 되었고 하중이 급격하게 감소하였다. 실험(2)는 실험(1)보다 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뽑히는 결과를 보였으며 최대 인발하중도 더 크게 나타났다.

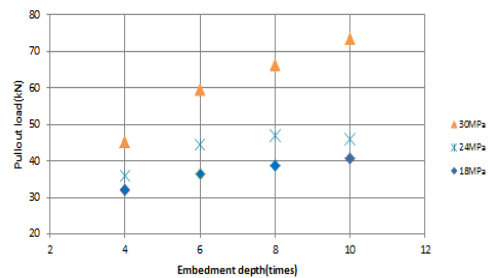
4. 콘크리트 강도 및 매입깊이에 따른 매개변수 분석

Table 5 및 Fig. 9, Fig. 10은 매입깊이 변수 및 콘크리트 강도 변수에 관한 결과이며 매입깊이가 클수록 최대 인발하중이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 콘크리트 강도 18MPa 및 24MPa의 경우는 인발강도에 미치는 영향이 적은 것으로 나타났다. 콘크리트 강도 24MPa의 매입깊이 변수가 10배인 최대 인발하중이 매입깊이 변수 8배의 최대 인발하중보다 작게 나타났지만 두 실험 모두 뽑힘 파괴가 발생하였으며 그 차이가 크지 않은 것으로 보아 콘크리트와 강재 특성에 의한 차이로 판단된다. 각 실험

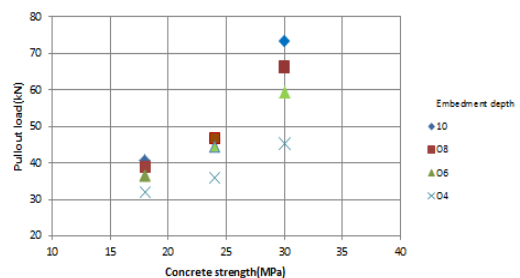
결과를 보면 매입깊이 변수가 6배 이하인 경우 모두 콘크리트 파괴가 발생한 것으로 보아 매입깊이가 8배 이상이면 파괴모드는 콘크리트 강도의 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 콘크리트 강도가 클수록 최대 인발하중이 크게 나타났으며 슬리브의 팽창을 콘크리트가 더 잘 억제하기 때문에 인 것으로 추정된다.

[Table 5] Average pullout force

Name of experiment	Average pullout load(kN)	Average displacement(mm)	Concrete strength (MPa)
T16-10-18-No	40.60	12.85	18
T16-08-18-No	38.78	12.98	18
T16-06-18-No	36.54	11.13	18
T16-04-18-No	32.06	6.58	18
T16-10-24-No	46.01	16.23	24
T16-08-24-No	46.76	10.75	24
T16-06-24-No	44.43	16.54	24
T16-04-24-No	35.84	7.10	24
T16-10-30-No	73.36	10.63	30
T16-08-30-No	66.22	16.43	30
T16-06-30-No	59.50	11.07	30
T16-04-30-No	45.36	3.70	30



[Fig. 9] Pullout load-embedment depth graph



[Fig. 10] Pullout load-concrete strength graph

5. 결론

본 연구는 콘크리트용 후설치 세트앵커의 매입깊이 및 콘크리트 강도를 변수로 하여 인발파괴실험을 수행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 콘크리트 압축강도가 클수록 최대 인발하중도 크다는 것을 알 수 있다. 콘크리트 강도 30MPa 같은 경우에는 매입깊이 변수의 영향을 많이 받은 것으로 나타났다. 콘크리트의 강도가 클수록 앵커 본체가 슬리브 내부로 관입 될 때 슬리브가 벌어지면서 콘크리트와의 마찰력이 커지면서 최대 인발하중이 더 크게 나타나는 것으로 판단된다. 콘크리트 압축강도가 낮은 경우에는 인발강도에 미치는 영향이 높은 경우 보다는 적은 것으로 나타났다.
- (2) 매입깊이 96mm 이하의 경우 콘크리트 압축강도와 관계없이 뿔힘 및 콘크리트 파괴가 발생하였는데 이는 콘크리트 두께에 관련된 것으로 판단된다.

References

- [1] I. H. Moo, *Mechanical Behavior of Extra-Large Sized Anchor System Embeded in Concrete*, Hanyang University, 2005.
- [2] ACI Committee349, *Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures(ACI 349-85)*, American Concrete Institute, Detroit, 1985.
- [3] F. Werner, E. Rolf, E. B. John, "Concrete Capacity Design(CCD) Approach for Fastening to Concrete," *ACI Structural Journal*. vol. 92, No. 1, pp.73-94, January, 1995.
- [4] S. Y. Hwang, *A Study on the Fracture Resistance Characteristics of Post-Installed Anchor*, Seoul National University of Science and Technology, 2011.
- [5] S. Y. Park, *Assessment of Fracture Behavior and Design Methods for the Anchorage Systems Fastening to Concrete*, Korea University, 1999.
- [6] Y. M. Park, M. H. Jeon, M. K. Choi, C. H. Kim, "A Study on the Concrete Breakout Capacity Evaluation of Medium-to-Large size CIP Anchor Bolts under Tension Loading", *Journal of Korean Society of Steel Construction*, vol. 23, No. 4, pp.493-501, August, 2011.
- [7] J. M. Kim, *Tensile Fracture Behavior of Anchors to Concrete*, Changwon National University, 2002.
- [8] H. S. Oh, S. R. Park, "Experimental Verification on the Structural Safety of Cantilever Beam Connected with

Post-installed Adhesive Anchor Bolts", *Journal of the Korea Concrete Institute*, vol. 23, No. 4, pp.529-536, August, 2011.

DOI: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2011.23.4.529>

- [9] J. S. Kim, M. H. Kwon, H. S. Seo, J. H. Park, "Performance Evaluation and Analysis Model for the Post-Installed Anchor", *Journal of KOSHAM*, vol. 13, No. 2, pp.89-95, April, 2013.

DOI: <http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.2.089>

- [10] K. M. Lee, C. Y. Lee, S. H. Jung, S. W. Choi, "Tensile and Shear Test Method for Post-installed Mechanical Anchors Embedded in Concrete", *Journal of the Korea Concrete Institute*, vol. 21, No. 1, 2009.

숏 러 타(Ra-Tha Suth)

[준회원]



- 2012년 2월 : 관동대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 관동대학교 토목공학과 (석사과정)

<관심분야>

구조공학, 구조물보수보강

유 승 운(Seung-Woon Yoo)

[정회원]



- 1985년 2월 : 연세대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : KAIST 토목환경공학과 (공학박사)
- 2005년 7월 ~ 2006년 8월 : 위스콘신대학교 방문교수
- 1995년 3월 ~ 현재 : 관동대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

구조공학, 구조물보수보강