

비균열 콘크리트에 매립된 발전설비 정착부 선 설치 앵커의 구조성능 평가

김동익, 정우영*
강릉원주대학교 토목공학과

Performance Evaluation of the Cast-in-place Anchor Bolt in Non-cracked Concrete used in Power Plant Facilities

Dong-Ik Kim, Woo-Young Jong*
Department of Civil Engineering, Gangneung-Wonju Nation University

요약 과거 지진 발생으로 인하여 발전소 내 전력 운용설비의 전도로 인한 피해가 크게 발생하여 이에 대한 국내 발전소 운용설비 정착부에 대한 내진 안정성 평가는 매우 중요하다. 본 연구에서는 현재 국내 발전소 내 설치된 발전설비 현장조사를 통하여 콘크리트 슬래브에 설치된 발전설비 정착부 앵커볼트의 구조성능을 평가하였다. 대상구조물인 대청댐의 경우, 고정부 설치용으로 선 설치 앵커볼트가 사용되었으며 규격은 M10 J형 선설치 앵커볼트와 M12 J형 선설치 앵커볼트로 시공되었다. ASTM E 488-96 기준을 고려하여 앵커볼트 인발 및 전단 성능평가를 수행하였으며 평가된 앵커볼트의 성능을 국내의 설계기준(KCI 2012, ACI 318, EOTA TR45)과 비교, 분석하였다. 그 결과 M10, M12 J형 선설치 앵커볼트들은 모두 설계하중 값보다 높게 저항하는 것으로 나타나 현재 시공 상태가 설계기준은 충분히 만족하다는 결과를 얻었다. 하지만 이는 실험적 평가를 통한 결과일 뿐이므로 향후 수치해석 평가를 통하여 보다 폭넓게 분석될 필요가 있을 것으로 판단된다.

Abstract The seismic performance and stability of operating facilities installed in domestic power plants need to be verified because of the increased incidence of earthquakes resulting in power plant damage due to the overturning failure of electric operating facilities. In this study, a structural performance evaluation of the anchor bolts constructed to setup the operating facilities on concrete slabs was carried out through an on-site inspection of power plants, called Daechung-Dam. M10 J hook and M12 J hook anchor bolts were installed in the field unit. According to the ASTM E 488-96 specifications, anchor bolt pullout and shear tests were carried out and compared with the anchor-bolt design standards. The results from the tension and shear pullout tests showed that the M10 and M12 J hook anchor bolts had higher performance than the required design load. Thus, they were found to be safe enough. Nevertheless, more research in the field of analytical study will be needed in the near future.

Keywords : J-Type Hook Bolts, Structural Performance Evaluation, Shear, Pullout, Crack

1. 서론

2014년 진도 규모 5.0 이상의 지진 발생 횟수는 총

914회로 전 세계적으로 지속적으로 증가하고 있으며 국내에서도 최근 경주 대지진(규모 5.8) 및 포항 지진(규모 5.4)이 발생하게 되면서 우리나라도 더 이상 지진피해에

본 연구는 국토교통부 플랜트연구사업의 연구비지원(19IFIP-B128598-03)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Woo-Young Jong(Gangneung-Wonju Nation University.)

email: wooyung@gwnu.ac.kr

Received September 25, 2019

Accepted November 1, 2019

Revised October 30, 2019

Published November 30, 2019

안전하지 않은 지역으로 말할 수 있다. 2014년 제정된 지진재해대책법(법률 11994호)에 따라 건축물, 공항시설, 도로시설, 석유 저장시설, 송유관, 수도시설, 원자력 시설 등 대부분의 국가 기관 시설물에 대한 내진설계기준을 의무화 하고 있다. 또한 전체 건설비용 중에 비구조요소 (보일러·압력용기·배관·배전반)등 및 운용설비 (캐비닛 등)가 차지하는 비중이 상당히 큰 것으로 나타났으며 관공서와 호텔의 경우 60% 이상이 비구조요소 및 운용설비에 사용되는 것으로 나타났다. 이에 따라 비구조요소 및 운용설비의 내진안전성에 대한 연구가 급증하고 있으며 그 동안 원자력발전소 등과 같은 위험수준이 높은 시설물과는 달리 국내 수력화력발전소 내의 비구조요소 및 운용설비 정착부는 상대적으로 소외되어 있으며 마땅한 내진성능 검증 방법이 부재한 실정이다.

Fig. 1과 같이 발전소 내 발전설비의 지진피해 유형은 크게 세가지 형태 관성력, 층간변형, 독립구조물의 이격 변화로 구분된다. 이중 가장 일반적으로 나타나는 피해유형이 관성력에 의한 지진피해 유형이다. 플랜트 구조물의 경우 2008년 발생한 Fig. 1(a) 중국 쓰촨성(Sichuan) 지진피해사례, Fig. 1(b) 대만 지진피해사례 등으로 인하여 발전소 내 전력설비의 전도 등으로 인한 손상이 크게 발생한 사례가 있어 국내 발전소 내 발전설비 정착부에 대한 내진성능 검증 및 안정성 연구 또한 매우 중요하다.



Fig. 1. Earthquake damage case
(a) Sichuan earthquake damage case
(b) Taiwan earthquake damage case

본 연구에서는 현재 국내 발전소 내 설치된 발전설비 내진성능 검증에 앞서 현장조사를 통하여 콘크리트 슬래브에 설치된 발전설비 정착부 앵커볼트에 대한 구조성능 평가를 수행하였다. 현장설치 조사대상으로는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 대전광역시에 위치한 대청수력발전소 내 실제 발전설비 정착부를 고려하였으며 시공된 연도를 고려할 때 일반적으로 많이 활용되는 후 설치 앵커가 아닌 선 설치 M10 J형 선설치 앵커볼트가 설치됨을 확인하였다. 본 연구에서는 선설치 앵커볼트 직경에 따른 구조성능을 조사하기 위하여 M12 J형 선설치 앵커볼트를 추

가로 선정하였다. 이와 비슷한 선 설치 대형 앵커볼트의 콘크리트 파열파괴 강도에 대한 연구를 참고하여 구조성능 평가를 수행하였다.[1,2].

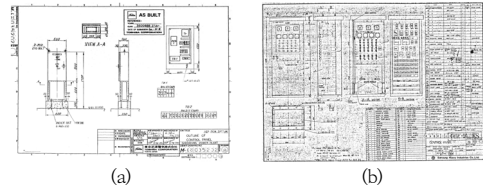


Fig. 2. Daechung hydroelectric power plant construction drawing
(a) Outline of control panel drawing
(b) Control panel drawing

2. 본론

2.1 앵커볼트의 종류

2.1.1 선 설치 앵커볼트

콘크리트가 타설되기 전에 미리 설치하여 콘크리트가 타설된 후 굳으면서 콘크리트와 일체가 되는 앵커볼트를 선 설치 앵커볼트라 한다. 대표적인 선 설치 앵커볼트의 종류로는 헤드볼트, L형 갈고리 볼트, J형 갈고리 볼트, 헤드스터드, 나사형 강봉 등이 있다. Fig. 3는 대표적인 선 설치 앵커볼트의 종류를 나타냈다.

본 연구에서 현장조사를 통하여 현장설치 조사대상인 선설치 앵커볼트는 J형 갈고리 볼트로 확인하였다. 이러한 갈고리 볼트는 주로 볼트 단부에 마련된 90° 갈고리(L형) 또는 180° 갈고리(J형)의 기계적인 맞물림 효과에 의해 성능을 발휘한다.

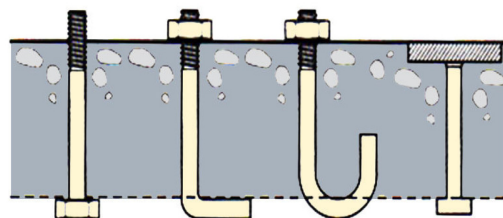


Fig. 3. Type of cast-in place anchor

2.2 국내의 앵커볼트 설계기준

2.2.1 앵커볼트 설계기준 기본개념

국내 콘크리트용 앵커볼트 설계기준은 2007년 콘크

리트구조기준이 개정되면서 부록으로 앵커설계법이 도입되었다[3]. 우리나라는 미국콘크리트학회(ACI 기준)를 참고하여 콘크리트구조설계기준(2012) 부록 II 콘크리트용 앵커 기준을 개정하였다. 미국콘크리트학회의 ACI 349 및 ACI 318 위원회에서 CCD(Concrete Capacity Design) 방법에 근거한 파괴강도식을 ACI 349-01 및 ACI-02 기준에 처음으로 채택한 이후 현재까지 적용되고 있으며 유럽의 앵커볼트 설계기준은 EOTA (European Organization for Technical Assessment)에서 제정한 ETAG 001에 제시되었다. ETAG 001 기준 또한 미국의 앵커볼트 설계기준과 동일하게 CCD방법에 근거하고 있지만 앵커의 직경과 유효지압길이의 영향을 조금 다르게 제시하고 있다[4-8]. Eq. (1)과 Eq. (2)는 인장 및 전단하중을 받는 앵커볼트의 기본 개념을 나타냈다.

$$\Phi N_n \geq N_{ua} \quad (1)$$

Where, N_{ua} denotes factored tensile force applied to anchor or group of anchors, ΦN_n denotes Nominal tensile strength

$$\Phi V_n \geq V_{ua} \quad (2)$$

Where, V_{ua} denotes factored Shear force applied to anchor or group of anchors, ΦV_n denotes Nominal Shear strength

앵커의 강도는 강재의 강도뿐만 아니라 앵커의 묻힘 부분과 연관된 강도(콘크리트파괴 등)에 의해서 발생하는 파괴모드를 모두 고려하여야 한다. 강재강도와 관계된 파괴모드는 인장파괴와 전단파괴가 있다. 앵커의 묻힘 요소와 관련되는 파괴모드에는 콘크리트파괴, 앵커의 뽑힘, 측면파열, 콘크리트 프라이아웃, 쪼개짐 등이 있다. Fig. 4은 인장을 받는 앵커의 파괴모드를 나타냈다. Fig. 4(a) 강재파괴, Fig. 4(b) 뽑힘, Fig. 4(c) 측면파열, Fig. 4(d) 콘크리트파괴, Fig. 4(e) 쪼개짐 파괴모드이다. Fig. 5는 전단을 받는 앵커의 파괴모드를 나타냈다. Fig. 5(a) 강재파괴, Fig. 5(b) 프라이아웃, Fig. 5(c) 콘크리트파괴 파괴모드이다.

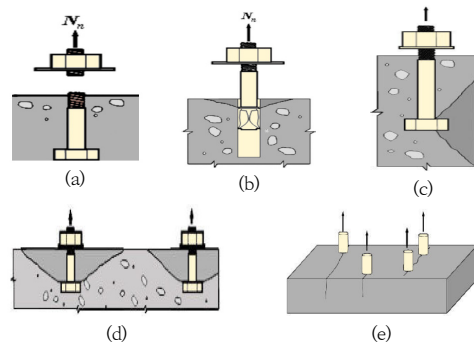


Fig. 4. Failure mode of anchor bolt subjected to tension (a) Steel failure (b) Pullout (c) Side-face blowout (d) Concrete breakout (e) Concrete splitting

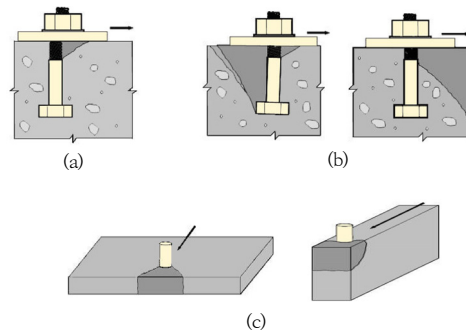


Fig. 5. Failure mode of anchor bolt subjected to shear (a) Steel failure (b) Concrete pryout (c) Concrete breakout

2.2.2 인장 및 전단을 받는 앵커볼트 설계강도

공칭 인장강도는 다음의 가능한 앵커 파괴 형태 중에서 가장 작은 값을 취하여야 한다. Table 1과 같이 앵커볼트 국내기준(KCI 2012), 미국기준(ACI 318), 유럽기준(EOTA TR045)으로 구분하여 인장을 받는 앵커볼트의 설계강도를 나타냈다.

Table 1. Design standards for domestic and overseas anchor bolts subjected to tension

KCI 2012, ACI 318	EOTA TR045
Nominal strength of anchors in tension (N_{sa})	
$N_{sa} = nA_{se} n_{f_{uta}}$	$N_{Rk,s} = A_s \cdot f_{uk}$
Nominal concrete breakout strength in tension (N_{cb})	
Single anchor (KCI, ACI)	$N_{cb} = \frac{A_{N_c}}{A_{N_{wo}}} \varphi_{ed,N} \varphi_{c,N} \varphi_{cp,N} N_b$
Group of anchors (KCI, ACI)	$N_{cbg} = \frac{A_{N_c}}{A_{N_{wo}}} \varphi_{ec,N} \varphi_{ed,N} \varphi_{c,N} \varphi_{cp,N} N_b$

$N_{Rk,c} = N_{Rk,c} \frac{A_{c,N}}{A_{c,0,q}} \varphi_{ec,N} \varphi_{ed,N} \varphi_{ec,N} \varphi_{cp,N} N_b$ (EOTA TR045)	
Nominal pullout strength in tension (N_{pm})	
$N_{pm} = \varphi_{c,p} N_p$	$N_{Rk,p}$
Side-face blowout strength (N_{sb})	
Single anchor (KCI, ACI)	$N_{sb} = 13c_{a1} \sqrt{A_{brg}} \sqrt{f_{ck}}$
Group of anchors (KCI, ACI)	$N_{sbg} = \left(1 + \frac{s}{6c_{a1}}\right) N_{sb}$
$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \varphi_{s,N} \varphi_{re,N} \varphi_{ec,N} \varphi_{ucr,N} \varphi_{h,sp}$ (EOTA TR045)	

전단하중을 받는 앵커볼트의 설계 강도를 Table 2과 같이 나타냈다.

Table 2. Design standards for domestic and overseas anchor bolts subjected to shear

KCI 2012, ACI 318		EOTA TR045	
Nominal strength of anchors in shear (V_{sa})			
$V_{sa} = n0.6A_{se} \sqrt{f_{uta}}$		$V_{Rk,s} = 0.5 \cdot A_s \cdot f_{uk}$	
Nominal concrete breakout strength in shear (V_{cb})			
Single anchor (KCI, ACI)	$V_{cb} = \frac{A_{V_c}}{A_{V_{co}}} \varphi_{ec,V} \varphi_{ed,V} \varphi_{ec,V} \varphi_{h,V} V_b$		
Group of anchors (KCI, ACI)	$V_{cbg} = \frac{A_{V_c}}{A_{V_{co}}} \varphi_{ec,V} \varphi_{ed,V} \varphi_{ec,V} \varphi_{h,V} V_b$		
Single anchor (Euro)	$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \varphi_{s,V} \varphi_{h,V} \varphi_{a,V} \varphi_{ec,V} \varphi_{ucr,V}$		
Group of anchors (Euro)	$V_{Rk,c}^0 = 0.45 \sqrt{d_{nom}} (l_f/d_{nom})^{0.2} \sqrt{f_{ck,cube}} c_1^{1.5}$		
Nominal concrete pryout strength (V_{cp})			
Single anchor	$V_{cp} = k_{cp} N_{cb}$	$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,c}$	
Group of anchors	$V_{cpq} = k_{cp} N_{cbg}$		

본 연구에서 인장 및 전단실험을 수행한 결과 모두 강제파괴모드로 나타났다. 이에 따라 인장 및 전단하중을 받는 단일앵커볼트 강제강도식을 적용한 설계강도를 Table 3과 같이 나타냈다.

Table 3. Tensile and shear load design strength

Force	Size	Design Strength(N)
Tensile	J-M10	26,448N
Tensile	J-M12	38,441N
Shear	J-M10	15,869N
Shear	J-M12	23,065N

2.3 시험개요

2.3.1 시험방법

본 실험은 ASTM E488 기준에 근거한 국가공인인증 센터 부산대학교 지진방재연구센터에서 Fig. 6과 같이 Dynamic UTM 1000kN 실험 장비를 이용하여 수행하였다.



Fig. 6. 1000kN Dynamic material testing machine

인발시험의 경우 앵커볼트가 매립되어 있는 콘크리트 바닥 슬래브를 1000kN UTM 반력바닥에 두 개의 강판을 이용하여 F10T M24 고장력볼트(8개)로 고정된 뒤 Fig. 7과 같이 1000kN UTM 로드셀의 유압식 인발실험용 인장그립을 사용하여 앵커볼트를 고정된 후 실험을 수행하였다.



Fig. 7. Hydraulic grip jig for pullout tests

전단시험의 경우 Fig. 8 도면에 나타난 것처럼 콘크리트 슬래브를 지면과 수직으로 세워 자체 제작한 전단실험용 지그의 홀에 앵커볼트가 들어가도록 콘크리트 슬래브를 밀착시킨 다음 지그의 홀 밖으로 나온 앵커볼트를 너트로 손 조임 하여 고정시켰다. 실험 도중 콘크리트면의 미끄러짐을 방지하기 위하여 Fig. 9과 같이 콘크리트 바닥 슬래브를 1000kN UTM 반력바닥에 지그를 사용해서 F10T M24 고장력볼트(16개)로 고정하였다.

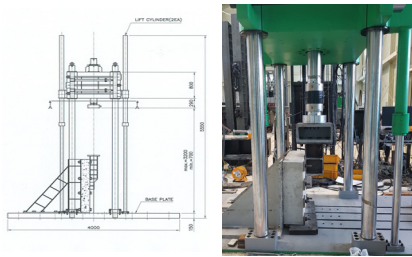


Fig. 8. Illustration of shear tests set-up

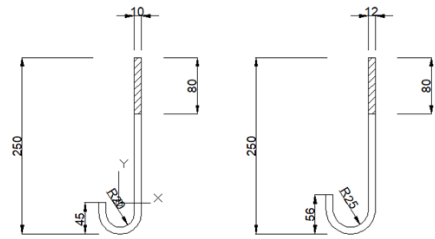


Fig. 10. M10/12 J-type hook anchor bolt design diagrams

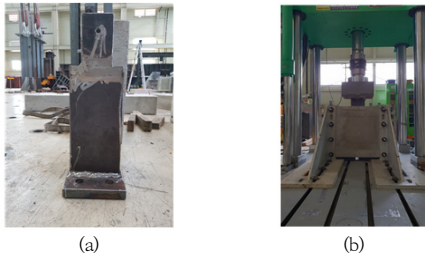


Fig. 9. Jig for shear tests
(a) Jig for shear (b) Jig for shear

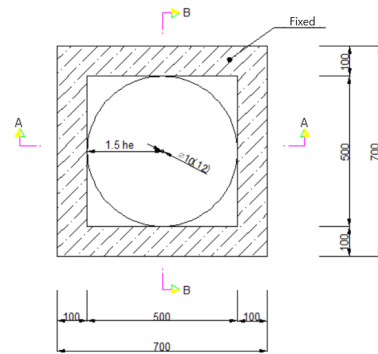


Fig. 11. Non-cracked concrete specimen design diagrams

2.3.2 하중조건

본 실험은 ASTM E 488에 근거한 하중가력조건을 적용하였다. ASTM 기준에는 명확히 수치적 명시가 제시되어 있지 않고 정확한 하중-변위 결과를 얻기 위해선 최대한 천천히 하중을 가해야한다고 명시되어있기 때문에 인발 및 전단 두 시험 모두 증력 반대방향(상향)으로 하중을 0.4mm/min을 단조가력 하였다.

2.3.3 시험체 설계 및 제작

대상으로 하는 시험체는 발전소 내 변전시설 및 전력 설비(캐비닛) 정착부에 설치되는 앵커볼트의 일종이며 이를 현장조건과 유사하게 모사하기 위하여 콘크리트 바닥 슬래브에 J형 앵커볼트를 매립하였다. 앵커볼트 같은 경우 M10과 M12 두 종류의 시험체를 이용하였으며 시험체 도면 및 규격에 대한 정보를 Fig. 10과 Table 4, Table 5에 나타냈다. 콘크리트 시편 사이즈는 미국기준 ACI318-11에 근거한 앵커볼트의 파단반경 및 시험체 고정 지그를 고려하여 제작하였다. 콘크리트 시험체의 도면 및 규격에 대한 정보를 Fig. 11과 Fig. 12 그리고 Table 6에 나타냈다. Fig. 13은 제작한 시험체 앵커볼트를 Fig. 14은 콘크리트를 나타냈다. 시험체 별 가력조건을 Table 7에 나타냈다.

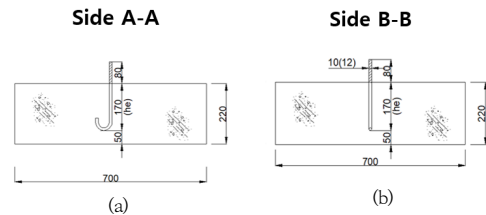


Fig. 12. J-type anchor bolts embedded in non-cracked concrete section A-A, B-B

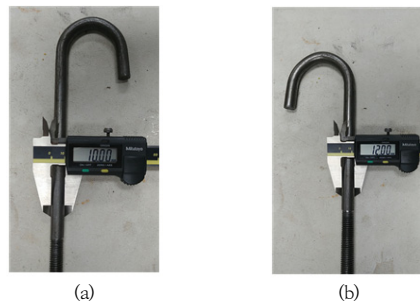


Fig. 13. M10, M12 J-type hook anchor bolts specimens

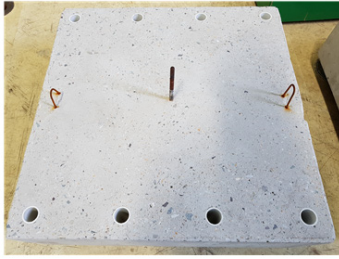


Fig. 14. J-type anchor bolts embedded in non-cracked concrete specimens

Table 4. Concrete mix design

Concrete strength (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)			
			W	C	G	S
21	55.6	50.3	164	295	927	917

Table 5. Specification of anchor bolts

Test Stand Product Name	Diameter (mm ²)	Length (mm)	Depth (mm)	Fracture Radius (mm)
J-type Anchor Bolt	M10	250	170	250
	M12			

Table 6. Specification of non-cracked concrete

Test Stand Product Name	Design Load (MPa)	H-Length (mm)	V-Length (mm)	Height (mm)
Non-Cracked Concrete	21	700	700	220

Table 7. Load force condition for each specimen

Specimen Name	Test Method	Remark (Specimen Test name)
10Ø Anchor bolt (#1)	T-01	Test 01 (Shear test)
10Ø Anchor bolt (#2)	T-01	Test 02 (Shear test)
10Ø Anchor bolt (#3)	T-01	Test 03 (Shear test)
12Ø Anchor bolt (#1)	T-01	Test 04 (Shear test)
12Ø Anchor bolt (#2)	T-01	Test 05 (Shear test)
12Ø Anchor bolt (#3)	T-01	Test 06 (Shear test)
10Ø Anchor bolt (#1)	T-01	Test 07 (Pullout test)
10Ø Anchor bolt (#2)	T-01	Test 08 (Pullout test)
10Ø Anchor bolt (#3)	T-01	Test 09 (Pullout test)
12Ø Anchor bolt (#1)	T-01	Test 10 (Pullout test)
12Ø Anchor bolt (#2)	T-01	Test 11 (Pullout test)
12Ø Anchor bolt (#3)	T-01	Test 12 (Pullout test)

2.4 구조성능 실험결과 및 분석

2.4.1 비균열 콘크리트에 매립된 선 설치 J형 앵커볼트 전단성능평가

실험 중 시험체에 손상이 생겨 하중이 급격히 감소되거나 심한 파손으로 인해 하중저항능력을 상실한 경우 실험을 중단하였다. 시험체 별 최대하중 및 시험체 최대 하중 평균값을 Table 8에 나타냈다. 10Ø 고정형 앵커볼트 (#3) Test 03 전단 실험은 실험장비의 오류로 인해 계측하지 못하였다. 따라서, M10 J형 선설치 앵커볼트는 10Ø 고정형 앵커볼트 (#1) Test 01 과 10Ø 고정형 앵커볼트 (#2) Test 02 으로 평균값을 산정하였다. M12 J형 선설치 볼트는 12Ø 고정형 앵커볼트 (#1) Test 04, 12Ø 고정형 앵커볼트 (#2) Test 05, 12Ø 고정형 앵커볼트 (#3) Test 06 평균값을 산정하였다. Fig. 15과 Fig. 16은 앵커볼트 직경에 따른 시험체 별 전단시험 하중-변위 그래프를 나타내었다.

Table 8. Shear test result

Specimen	Maximum load (kN)	Average value (kN)	Remark
Test 01	32.47	30.59	10Ø Anchor Shear test
Test 02	28.72		
Test 03	9.0 (N.G)		
Test 04	28.49	28.26	12Ø Anchor Shear test
Test 05	27.27		
Test 06	29.04		

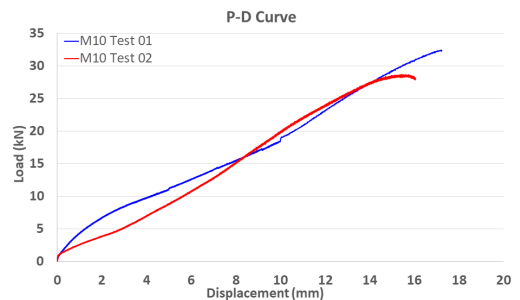


Fig. 15. M10 J-type hook anchor shear test P-D curve

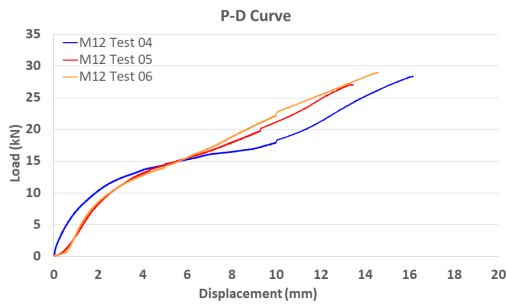


Fig. 16. M12 J-type hook anchor shear test P-D curve

2.4.2 비균열 콘크리트에 매립된 선 설치 J형 앵커볼트 인발성능평가

인발시험 결과에 따른 최대하중 및 시험체 최대하중 평균값을 Table 9에 나타내었다. M10 J형 선설치 앵커볼트의 경우 10Ø 고정형 앵커볼트 (#1) Test 07, 10Ø 고정형 앵커볼트 (#2) Test 08, 10Ø 고정형 앵커볼트 (#3) Test 09 세 시험의 평균값을 결과 값으로 산정하였다. M12 J형 선설치 앵커볼트는 12Ø 고정형 앵커볼트 (#1) Test 10, 12Ø 고정형 앵커볼트 (#2) Test 11, 12Ø 고정형 앵커볼트 (#3) Test 12 세 시험의 평균값을 결과 값으로 산정하였다. Fig. 17과 Fig. 18는 앵커볼트 직경에 따른 시험체 별 인발시험 하중-변위 그래프를 나타내었다.

Table 9. Pullout test result

Specimen	Maximum load (kN)	Average value (kN)	Remark
Test 07	36.54	37.12	10Ø Anchor Pullout test
Test 08	36.46		
Test 09	38.37		
Test 10	53.37	52.31	12Ø Anchor Pullout test
Test 11	51.38		
Test 12	52.19		

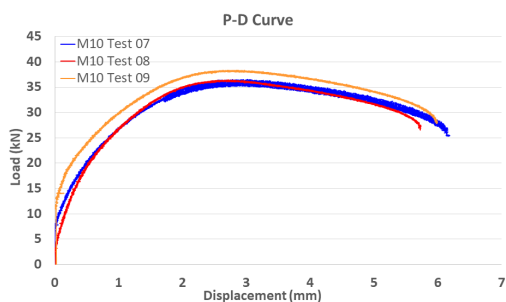


Fig. 17. M10 J-type hook anchor pullout test P-D curve

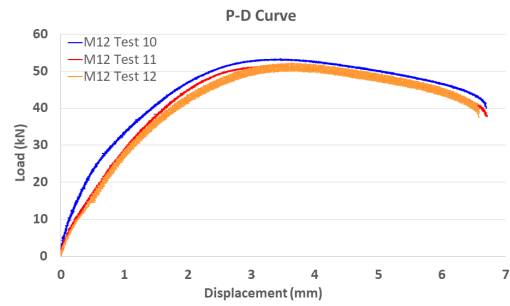


Fig. 18. M12 J-type hook anchor pullout test P-D curve

Fig. 19와 Fig. 20은 M10과 M12 J형 선설치 앵커볼트 전단시험 결과 및 Table 3에서 제시한 설계하중 값을 비교하여 막대그래프로 나타내었다. 그리고 Fig. 21와 Fig. 22은 M10과 M12 J형 선설치 앵커볼트 인발시험 결과 및 설계하중 값을 비교, 동일하게 분석하여 그 결과를 나타내었다.

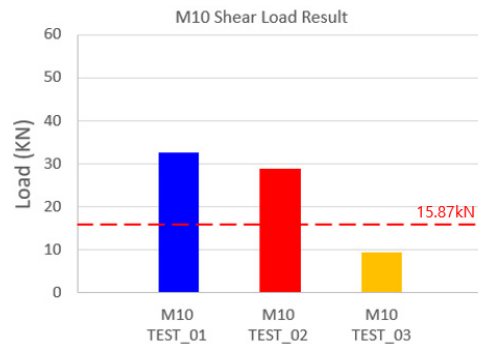


Fig. 19. M10 J-type hook anchor shear test

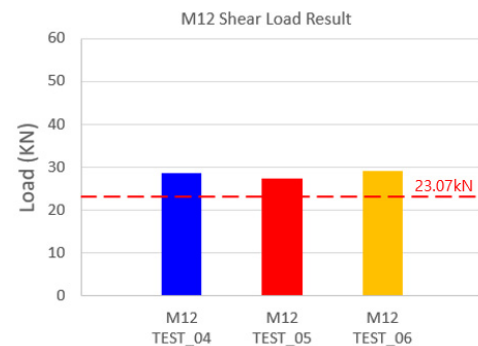


Fig. 20. M12 J-type hook anchor shear test

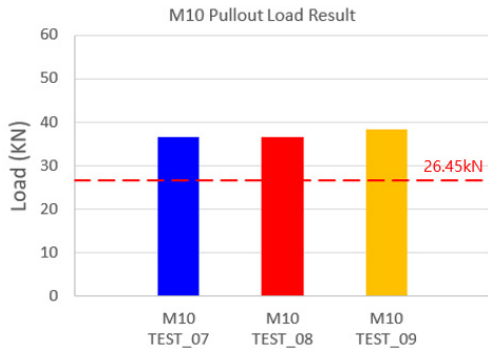


Fig. 21. M10 J-type hook anchor pullout test

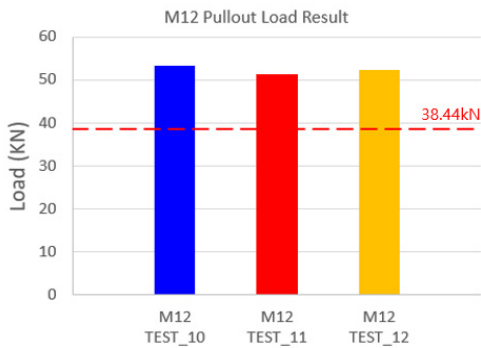


Fig. 22. M12 J-type hook anchor pullout test

3. 결론

본 연구에서는 실제 국내 발전소 내 설치된 운용 발전설비 정착부의 앵커부 구조성능을 실험적으로 조사하였다. 현장조사에서 확인된 선 설치 앵커들은 M10 J형 선설치 앵커볼트와 M12 J형 선설치 앵커볼트로서 각각에 대하여 구조성능평가를 수행하였다. 최종적으로 국내외 앵커볼트 설계기준에 근거하여 수행된 결과 값을 최대 설계하중 값과 비교 및 분석하였다.

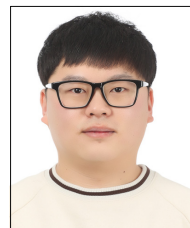
그 결과, 인발성능의 경우 M10 J형 선설치 앵커볼트는 설계 값보다 약 40% 높은 것을 확인하였으며, M12 J형 선설치 앵커볼트는 설계 값보다 약 36% 높은 것으로 나타났다. 이는 현재 발전소 내 발전설비 정착부에 설치된 J형 선설치 앵커볼트의 성능이 국내 콘크리트용 앵커볼트 설계기준에 충분히 만족한다고 판단할 수 있다.

References

- [1] Jeon, M. H., "Evaluation of the Concrete Breakout Capacity of the CIP Anchor Bolts under Tension and Shear Loading," Department of Civil Engineering Graduate School of Pusan National University, Pusan, Korea. (in Korean), 2012.
- [2] Park, Y. M., Ju, H. J., Kim, D. H., Kang, M. K., and Lee, J. H., Static Shear Resistance of Cast-In Place Anchors in Cracked Concrete, Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol. 27 No. 1, February, 2015, pp. 87-97, 2015. DOI <http://dx.doi.org/10.7781/kjoss.2015.27.1.087>
- [3] Choi, D. U., Chun, S. C., "Anchoring to Concrete," Magazine of the Korea Concrete Institute 19(4), pp. 41 - 44 (in Korean), 2007.
- [4] KCI ISO 19338:2014., "Korea Structural Concrete Design Code, Korea Concrete Institute, Seoul, Korea. (in Korean), 2012.
- [5] KCI M 10-005, "Anchor Design Methods and Examples for Concrete." Korea Concrete Institute, Seoul, Korea. (in Korean), 2010.
- [6] ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-11) and Commentary, Appendix D "Anchoring to Concrete", American Concrete Institute, USA, 2011.
- [7] ASTM E 488 - 96, "Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements," American Society for Testing and Materials (ASTM), USA, 2003.
- [8] EOTA TR 45 Technical Report, "Design of Metal Anchors For Use In Concrete Under Seismic Actions," European Organisation for technical approvals, EU, 2013.

김 동 익(Dong-ik Kim)

[정회원]



• 2019년 8월 : 강릉원주대학교 토목공학과 (공학석사)

<관심분야>
전산구조

정 우 영(Woo-Young Jung)

[정회원]



- 1997년 2월 : 경북대학교 토목환경공학 (공학석사)
- 2003년 2월 : 뉴욕주립대(버펄로) 토목환경공학 (공학박사)
- 2003년 3월 ~ 2004년 2월 : MCEER Research Associate
- 2004년 3월 ~ 현재 : 강릉원주대학교 토목공학과 교수

〈관심분야〉

전산구조 및 내진공학, 복합재료(FRP)공학