

'96 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

콘크리트 확장형 앵커의 동적검증

김상윤, 윤철호, 최강룡
한국원자력안전기술원

요 약

배관 및 기기 등의 지지부 정착에 사용되는 확장형 앵커는 여러 종류의 진동하중을 받게 되므로 그러한 하중에 대한 동적저항능력이 시험에 의하여 확인되어야 한다. 확장형 앵커의 동적시험 요건이 ASTM E488에 기술되어 있으나 내진시험 입력, 피로전단시험 입력 등 일부 요건이 구체적으로 명시되어 있지 않아 시험기관에 따라 시험조건이 자의적으로 결정될 수 있다. 따라서, 본고에서는 코드 시험요건이 구체적이지 못한 사항을 조사하여 적정 요구수준을 제시하였다. 또한, 국내에서 수행된 동적시험내용 검토결과, 현행 동적설계방안의 일부보완이 필요함을 확인하였다.

1. 서론

일반적으로 배관 및 기기 등의 지지부 정착에 사용되는 앵커는 콘크리트가 경화되기 전에 매설하는 매설 앵커(cast-in-place anchor)와 경화된 콘크리트에 설치가능한 확장형 앵커(CEA, concrete expansion anchor)로 구분된다. 원자력발전소와 같이 복잡한 공사에는 CEA 사용범위가 매우 광범위하여, 영광 3,4호기의 경우에 안전관련 기기 및 배관 등의 지지부 정착에만도 수만개가 사용되었고, 이를 볼 때 CEA가 안전성에 미치는 영향은 지대하다고 할 수 있다.

배관 및 기기 등의 지지부 정착에 사용되는 CEA는 정상상태진동, 과도진동과 같은 여러종류의 진동하중을 받게 된다. 영광 3,4호기 및 울진 3,4호기 경우, 이러한 진동하중에 대한 저항능력 평가를 위한 동적시험 관련기술기준으로 ASTM E488[2]을 사용하고 있으나, ASTM E488이 원자력 분야만의 특정코드가 아니고, 확장형 앵커만을 대상으로 한 것도 아니기 때문에 시험요건이 구체적이지 못하다. 따라서, 본고에서는 영광 3,4호기 및 울진 3,4호기에 사용된 wedge형 CEA에 대한 국내시험을 계기로 ASTM E488 요건을 중점조사하여 구체적이지 못한 항목을 확인하고, 이에 대하여 동적하중 및 앵커 시스템의 특성, 설계기준, 기존 시험 보고서 내용 등을 토대로 적정 요구수준을 제시하고자 한다. 또한, 국내에서 수행된 동적시험결과를 토대로 현행 동적설계방안의 문제점을 확인하고자 한다.

2. 동적시험

2.1 코드요건 조사

1) ACI 349-90, App. B

동적시험과 관련된 구체적인 기술내용이 없으며, B.7.5항에서 진동하중을 받는 곳에 사용되는 앵커는 반드시 시험에 의하여 그 저항능력이 입증되어야 한다고만 명시하고 있다.

2) ASTM E488

ASTM E488은 76년에 작성되었고 현재 90년판까지 발행되어 있다. 본 절에서는 내진 및 피로 시험 요건에 대하여 최초 작성시점부터 현재까지의 변경이력을 조사하였으며 그 결과를 표 1에 수록하였다.

2.2 기존 시험보고서 분석

ASTM E488에 구체적으로 명시되지 않은 내진시험의 입력파형, 하중크기, 싸이클 수, 피로전단시험의 입력파형, 시험앵커의 relaxation 크기, 변위파괴기준, 동적저항능력 평가방법 등에 대한 적정 요구수준을 정하는데 참고로 하기 위하여 기존의 시험보고서를 조사하였다. 79년 이후에 수행된 7개의 시험보고서에 수록된 시험조건은 매우 다양하였으며 표 2에 나타내었다.

2.3 한국기계연구원 피로전단시험

95년 한국기계연구원에서는 Hilti KB II 앵커에 대한 내진 및 피로시험에 앞서 피로전단에 대한 가시험을 $\phi 1/2$ in. 단일앵커 시편에 대해 수행하였다. 최대하중 0.25 F(앵커시스템의 극한강도), 2 Hz, alternating 파형의 입력으로 시험을 수행한 결과, loading plate의 slip이 발생되고 plate hole내에서 볼트와의 충돌현상 발생으로 약 700 싸이클에서 볼트가 휨파괴되었다. 최대하중을 0.1 F로 한 경우에는 약 10,000 싸이클에서 점점 변위가 커지고 있었으며 2×10^6 회의 피로저항은 어려울 것으로 예상되었다. 이를 통하여 plate hole내에 틈이 있는 경우의 피로전단시험은 slip이 파괴를 지배함을 확인할 수 있었다.

가시험 결과를 토대로 본 시험에서는 최대시험하중을 0.1 F 이하로 제한하였다.

2.4 구체적 시험요건 제안

본 절에서는 ASTM E488의 해당 부분에 구체적으로 제시되지 못한 사항에 대하여 입력하중 및 앵커시스템의 특성, 설계기준, 기존 시험보고서 분석내용 등을 토대로 적정 요구수준을 제시하였다.

1) 내진시험입력

내진시험방법은 크게 최대하중크기를 단계별로 증가시켜 동적파괴강도를 구하는 방법과 일정하중만을 부과한 후 연이은 정적시험을 통하여 동적저항능력을 구하는 방법으로 구분되며, 시험목적에 따라 두가지 방법중 한가지를 선택할 수 있도록 하는 것이 타당하다. 후자를 적용할 경우에 ASTM E488 요건외에 추가로 규정되어야 할 사항은 입력파형, 하중크기, 싸이클 수이다.

입력파형은 alternating과 pulsating으로 구분되며 앵커의 설치 위치에 따라 두개중 한 형태의 지진입력을 받게 된다.(그림 1) 앵커시스템은 통상 bearing plate를 통해 설치되며, 지지되는 설비로부터의 하중은 plate를 통해 전달되므로 설비로부터 발생하는 앵커 축방향 압축하중은 앵커볼트 자체에는 영향을 주지 않는다. 다만, plate 충돌효과는 예상될 수 있으나, 보고서 2(표 2 참조)의 내용조사 결과, plate 충돌이 앵커시스템에 큰 영향을 주지않음을 확인하였다. 또한, 인장시험 하중이 preload보다 크지 않으면 실질적으로 변위가 발생되지 않으므로 plate 충돌영향은 크게 우려되지 않는다. 따라서, 인장시험의 경우에는 입력파형을 pulsating으로 하여도 무방하다. 전단하중은 1차적으로 마찰저항력에 의하여 저항된다. 마찰저항력 한도내에서 앵커시스템이 저항된다면 입력파형의 영향이 크지 않겠지만, slip이 발생되면 그 파괴양상은 달라진다. pulsating 보다는 alternating 조건이 보다 가혹하다고 볼 수 있으므로 이를 적용하는 것이 적합하다. 실제, 캐나다 원자력 코드인 CSA N287.2에서도 alternating으로 모의하고 있다.

기존보고서 조사결과, 하중크기는 크게 최대하중의 크기를 단계별로 증가시켜 최종단계에서 설계강도 정도로 한 경우, 최대하중 크기를 설계강도로 일정하게 한 경우, OBE 조건에 대해서는 설계강도 크기로 SSE 조건에 대해서는 설계강도의 2배로 한 경우로 구분된다. 그러나, 그 설정배경을 확인하지 못하였으며, 다만, 단계별로 증가시킨 경우에는 지진하중의 불규칙성을 고려하기 위한 것이라고 설명되어 있다. 현재까지 확인

된 자료 조사 및 분석결과, 최대하중의 크기를 설계강도 2배로 규정해야만 하거나, 단계별로 구분해야만 할 기술적 근거를 충분히 확인하지 못하였다.

기존 시험보고서 내용을 조사하면, 내진시험입력 하중의 사이클 수도 매우 다양하다. 관련된 규제요건으로 원자력발전소 수명기간인 40년 동안 발생할 수 있는 중요한 seismic load stress reversal 횟수를 규정한 SRP 3.7.3과 3.9.2의 요건을 최소요구조항으로 할 수 있으며 이 경우, OBE 조건에 최대 응력 사이클 50회, SSE 조건에 10회로 최소횟수는 60회이다. 그러나 기존 시험보고서를 토대로 할 때 각 지진 event 당 40 사이클, 총 240 사이클 이상이 적정하다고 본다. 최소 10초의 지속시간을 갖는 인공시간이력으로부터 구하는 경우에서의 사이클 수는 최대하중 크기 및 단계와 연관되어 결정되어야 하며, 동 분야에 대해서는 많은 연구가 진행중이다.

동적파괴 시험방법을 적용할 경우에 ASTM E488요건외에 추가로 규정되어야 할 사항은 입력파형, 하중단계 및 단계별 크기, 사이클 수이다. 하중단계 및 단계별 크기는 특정하게 규정하는 것이 큰 의미가 없는 것으로 보이며 기타 시험은 앞에서 논의된 바와 같다.

2) 피로시험입력

ASTM E488에 피로전단시험에 대한 입력파형 및 하중크기가 명확히 기술되어 있지 않다. E488 81년판에서는 “인장 및 전단 시험시 loading rod에 순수 인장응력이 남아 있어야 한다.”라고 명시하므로써 전단시험 경우에도 입력파형이 pulsating임을 명시하고 있으나, 88년판에서는 상기조항에서 “전단시험”을 삭제하였으며, 이는 전단시험을 pulsating 하중으로 하는 것이 충분치 않을 수 있다는 것을 의미하는 것으로 보인다. Slip 발생으로 loading plate 내에서 볼트의 충돌현상이 발생될 경우에는 이 현상이 파괴모드를 지배하므로 시험입력을 pulsating으로 하는 것은 비보수적이며, 한국기계연구원 시험에서 그 사실을 확인하였다. 따라서, 내진시험의 경우와 마찬가지로 전단입력파형을 alternating으로 하는 것이 타당하다.

한편, 한국기계연구원 시험결과를 참조하면, wedge형 CEA의 설계강도 크기(0.25 F) 입력에 대한 피로전단저항은 slip 발생으로 어려울 것으로 보인다. 피로전단시험은 콘크리트면과 loading plate면 사이의 마찰저항력 확인이 관건이다. 따라서, 피로시험조건하에서 마찰면에서의 마찰계수, 앵커의 torque에 의하여 발생하는 인장력에 대한 정확한 값이 확인되어 slip에 대한 저항력이 우선 확인되어야 한다. 마찰저항력 이내에서의 피로시험은 pulsating 입력을 사용하여도 무방하며, 피로전단시험시 pulsating하중을 사용한 기존보고서에서는 plate hole내에 틈이 없거나 마찰저항이 이루어진다는 가정하에서 입력파형을 결정한 것으로 예상된다.

3) 앵커 relaxation

앵커 설치후 수시간내에 대부분의 relaxation이 발생된다. ACI 355.1R-91[4] 및 CEB자료[5]를 토대로 할 때 앵커 동적시험시 50 %의 relaxation을 고려하는 것이 적절한 것으로 보이나, 향후 앵커 type별로 정확한 relaxation 값을 시험 또는 자료조사를 통하여 확인할 필요가 있다. preload 크기는 특히, 전단시험의 경우 마찰저항력에 직접적인 영향을 주게 되므로 미치는 영향이 매우 크다.

4) 변위 파괴기준

지진 및 피로와 같은 동적하중 작용시 앵커의 변위가 커지면 지지된 기기 및 배관과의 상호작용효과가 발생될 수 있으므로 앵커지지부 설계조건을 고려하여 적절한 변위파괴기준이 결정되어야 한다. 다만, 실제 내진 및 피로 시험시 전단하중은 loading plate와 콘크리트 사이의 마찰력에 의해 저항되고, 인장하중은 preload 크기 이하에서 이루어질 가능성이 크므로 큰 변위가 발생될 것으로는 예상되지 않는다.

5) 동적저항능력 평가

내진시험요건을 명시한 ASTM E488 9.3.4.4항에서는 인장 및 전단 시험 공히 동적시험후에 정적인장시험을 수행하여 잔여강도를 평가하도록 하고 있으며, 피로시험에도 적용될 수 있을 것으로 보인다.

6) 인장-전단 조합시험

인장-전단 조합시험은 설계고려로 대체하는 방안, 조합시험에 대한 구체적인 방안 및 실제 기대할 수 있는 시험결과의 정확성 등을 고려할 때 현시점에서 반드시 수행해야 한다고 할만한 기술적 근거를 찾기 어렵다. ASTM E488에서도 현재까지는 인장-전단 조합시험을 다루고 있지 않다.

3. 동적설계

KOPEC 설계표준서 SDS E11[6]에서는 설계허용강도를 0.25 F 이하로 규정하고 있으며, CP-A1[7]에서는 다음과 같은 시험조건을 명시하고 있다.

“확장형 앵커에 대한 피로시험은 ASTM E488의 방법 A를 적용하되 최대하중은 0.25 F로 한다. 또한, 내진 시험의 경우, 최대입력하중을 0.25 F로 시작하여 최대 0.1 F씩 증가시켜 파괴 시까지 시험을 지속하며 최소하중은 0.03 F로 유지한다. 진동수는 5~10 Hz 범위내에 있어야 하며, 각 하중단계별로 최소 2,000 사이클을 유지해야 한다.”

상기 설계절차를 보면, 지진하중은 설계하중으로 고려되며, 동적파괴강도 시험을 수행함으로써 지진하중에 대한 앵커의 저항능력이 시험으로써 확인된다고 볼 수 있다. 피로를 유발시키는 하중은 배관 및 기기의 정상상태진동과 과도진동으로 구분된다. 운전하중과 같은 정상상태진동은 일반적으로 설계하중으로 고려되지 않으나, 운전정지, 배관파단, 기기파손 등으로 인한 과도진동은 설계하중으로 고려된다. 따라서, 피로시험시 최대하중의 크기를 설계강도와 유사한 0.25 F로 함으로써 실제 피로하중이 야기시키는 하중범위보다 더욱 가혹하게 시험조건을 설정했다고 볼 수 있으며, 이러한 방법을 통하여 과도진동뿐만 아니라 설계에 고려되지 않은 운전하중과 같은 정상상태진동 효과까지를 고려했다고 볼 수 있다. 이와 같은 시험요건 및 설계절차는 고리 3,4호기 및 영광 1,2호기 설계회사인 벡텔사의 절차[8]와도 유사하다.

현재의 설계방법 적용을 위해서는 0.25 F 크기의 피로시험이 성공하여야 한다. 그러나, 한국기계연구원에 서의 시험결과를 참조할 때 영광 3,4 및 울진 3,4호기에 사용된 wedge형 앵커는 전단시험의 경우, 앵커플레이트 hole 내에서의 충돌현상 발생으로 0.25 F 크기의 피로저항능력을 갖기 어려우며, 따라서 현재의 설계절차에 대한 보완이 요구된다. 한편, 한국기계연구원 시험에서는 단일앵커 시편을 사용하였으며, 현장조건을 고려하여 4개 앵커가 설치된 앵커어셈블리를 시편으로 사용할 경우 앵커의 저항능력이 향상될 것으로 예상된다.

4. 결론

배관 및 기기 등의 지지부 정착에 사용되는 확장형 앵커에 대한 동적시험요건을 명시한 ASTM E488 내용을 조사하여 구체적이지 못한 항목을 확인하고, 이에 대하여 동적하중 및 앵커시스템의 특성, 설계기준, 기존 시험보고서 내용 등을 토대로 적정 요구수준을 2.4항에 제시하였다. 또한, 국내에서 수행된 동적시험 내용 검토결과, 현행 동적설계방안의 일부보완이 필요함을 확인하였다.

5. 참고문헌

- 1) ACI 349-85, App. B, Steel Embedments
- 2) ASTM E488-76, 81, 84, 88, 90, Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements
- 3) DRAFT Regulatory Guide MS 129-4, Anchoring Component and Structural Supports in Concrete
- 4) ACI 355.1R-91, State-of-the-Art Report on Anchorage to Concrete
- 5) Fastenings to Concrete and Masonry Structure”, Comite Euro-International De Beton, 1994
- 6) SDS-E11, Structural Design Standard for Drilled-in Concrete Anchors, Rev. 3, 1992.

- 7) CP-AI, Spec. No. 9-192-C294, Exhibit D.12, Concrete Expansion Anchors, UCN Unit 3 & 4
- 8) Design Guide Number C-2.40 for Concrete Expansion Anchors (Rev. 0), Bechtel, Aug. 1977
- 9) Technical Report 3501-2, Summary Report, Generic Response to USNRC IE Bulletin NO. 79-02, Base Plate/Concrete Expansion Anchor Bolts, Teledyne Engineering Services, Aug. 30, 1979
- 10) Summary Report, Static, Dynamic and Relaxation Testing of Expansion Anchors in Response to NRC I. E. Bulletin 79-02, July 20, 1981
- 11) "Dynamic Testing of HSL Heavy-Duty Anchor, Size 1/2", 5/8", 3/4" and 1 in.", ZI. No. 274/81, Hilti Rankweil, 22. Dez. 1981
- 12) Nureg/CR-2999, Final Report, USNRC Anchor Bolt Study Data Survey and Dynamic Testing, Dec. 1982
- 13) Tests for ENEL/ENEA PART3, "Dynamic and Static Loading Tests with HSLG-N Heavy Duty Anchor M16, M20 and M24 sizes as well as Hilti HSA Stud Anchor, M12, M16 and M20 sizes", Feb. 1987
- 14) "Seismic Tests on 1/2" Hilti Kwik Bolt II Anchors", Ontario Hydro Research Division, August 2, 1989
- 15) "Static and Dynamic Tensile Testing of Hilti Carbon Steel HSLG Expansion Anchors", Richard E. Klinger, The University of Texas at Austin, June 2, 1994
- 16) CEB bulletin NO. 226, "Design for Fastenings in Concrete-Draft CEB Guide Part 1 to 3, Aug. 1995
- 17) "Comments on Draft RG MS 129-4", Letter from R.W. Cannon, ACI Committee 349 and 355, to NRC, dated Feb. 23, 1982

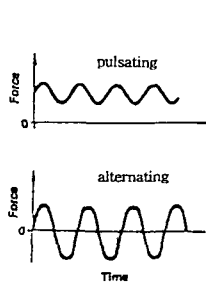


그림 1 입력파형

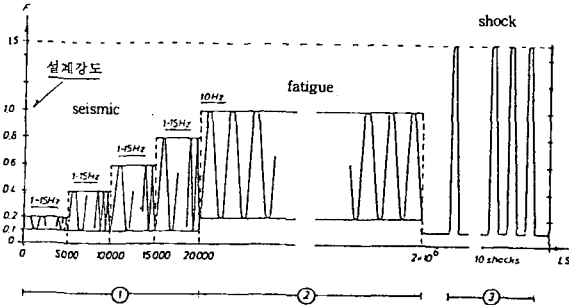
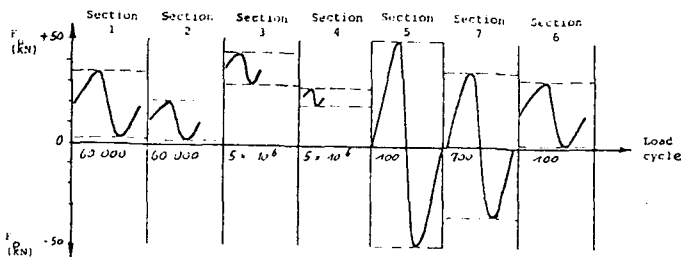


그림 2 내진 및 피로시험 입력



section no.	type of loading	frequency (Hz)	load cycles
1	shear pulsating	10	60,000
2	tensile pulsating	10	60,000
3	shear pulsating	40	5 x 10 ⁶
4	tensile pulsating	40	5 x 10 ⁶
5	shear alternating	0.7	100
7	shear alternating	0.7	700
6	tensile pulsating	0.7	100
8	static shear	-	-
9	static tensile	-	-

그림 3 내진 및 피로시험 입력

표 1 ASTM E488 내진 및 피로 시험요건

구 분	E488-76	E488-81, 84	E488-88-90	비 고
내진 시험	시험종류	-	-	- 인장시험 - 전단시험
	입 력	-	-	- 입력하중은 해당설비의 내진 요건을 고려하여 결정 - 진동수 · 1~15 Hz sweep, constant (인장시험)
피로 시험	시험종류	- 인장시험 - 전단시험	변경없음	변경없음
	입 력	- 입력파형 · 인장 및 전단시험 : pulsating - 하중크기 · 방법 A : 초기정적하중(앵커극한강도 3%) + cyclic 하중 · 방법 B : 초기정적하중 + 정적하중 + cyclic 하중 · 하중크기는 작용하중의 특성, 앵커시스템의 설계 및 극한 강도를 고려하여 결정 · 최소하중크기는 방법 A의 경우 초기정적하중 크기 - 진동수 : 1~10 Hz, constant - 싸이클 수 : 설계하중 및 현장조건을 고려하여 결정	- 초기정적하중의 크기를 극한강도의 5%로 변경 - 기타 내용은 변경 없음	- 입력파형 · 인장시험에 대해서만 pulsating으로 명시 (전단시험경우 명시안됨) · 하중크기(변경, 추가 사항) · 초기정적하중의 크기를 극한강도의 5%에서 설계강도의 20%로 변경 · 명시되지 않았을 경우, 최대 시험하중은 앵커의 설계강도, 최소하중은 설계강도의 20% - 진동수 : 1~20 Hz, sweep, constant - 싸이클 수 : 명시되지 않았을 경우 2×10^6 회
설치 조건	- loading plate hole size : 앵커직경 + 1.5mm (전단 시험) - 앵커 인접부위에서의 loading plate 두께 : 앵커 직경 크기	- 변경내용 없음	- 변경내용 없음	- 앵커 relaxation 명시 되지 않음
파괴 기준	- 일정량 이상의 slip 도 파괴 간주	- 변경내용 없음	- slip 표현을 displacement로 변경	- displacement 파괴 기준이 명시되지 않음
저항능력평가	- 피로시험 · 파괴 싸이클 수, 최대 slip 크기 결정	- 변경내용 없음	- 내진시험 · 내진 인장 및 전단시험후 정적 인장시험 수행 - 피로시험 · 변경내용 없음	- 피로시험후 잔여강도 평가방법이 명시되지 않음 - 잔여강도 확인시험시 합격기준이 명시되지 않음

표 2 기존 시험보고서 내진 및 피로 시험내용

F : 앵커시스템의 극한강도

보고서 No.	앵커 type 및 직경 크기	시험기관 및 일시	적용코드	시험종류	입 력	설치조건	변위파괴 기준	저항능력 평가	비 고
1 [9]	Red Head Wedge, Hilti KB 등 φ 1/2", 3/4", 1"	Teledyne Eng. Services, U.S.A. 1979.8.30	ASTM E488-76	- 내진인장 시험 - 피로시험 - 인장 - 전단-인장	- 내진인장시험 · 최대 F/4~최소 F/8 · 진동수 3 Hz · 사이클수 1,000회 - 피로인장시험 · 최대 F/5~최소 F/7.4 · 진동수 80 Hz · 사이클수 1×10 ⁶ 회 - 피로 전단-인장시험 · 전단 V/4 (V:허용전단하중) · 인장은 최대 F/5 - 최소 F/7.4 · 진동수, 사이클 수는 인장시험과 동일	- 앵커 relaxation : preload 0	- cyclic 시험중 1"	- cyclic 시험후 정적강도 확인	IE Bulletin 79-02 답변용 시험 보고서
2 [10]	wedge, sleeve, shell φ 1/2"	- 1981. 7.20	ASTM E488	- 내진 및 피로 인장 시험	- 내진시험 · 파형: alternating · F/4 200 사이클(5 OBE), F/2 40 사이클(1 SSE) · 진동수 10 Hz - 피로시험 · 파형: alternating · F/8 10,500 사이클 F/4 3,000 사이클	- loading plate hole : 앵커 직경 + 1/8" - 앵커 relaxation 영향 분석	-	-	IE Bulletin 79-02 답변용 시험 보고서
3 [11]	Hilti HSL heavy-duty anchor φ 1/2", 5/8", 3/4", 1"	Hilti, Rankweil, Germany 1981.12.22	ASTM E488-76	- 내진 및 피로시험 · 인장 · 전단	- 하중조건: 그림 2 · 지진하중+피로하중+충격 하중	- 앵커 relaxation : 앵커설치 3시간 경과후 시험 - loading plate hole size 및 두께 : E488 요건 적용	-	-cyclic 인장시험 후 정적 인장시험, cyclic 전단시험후 정적전단 시험 수행	
4 [12]	wedge, shell anchor φ 3/4"	Teledyne Eng. Services, U.S.A. 1982.12.	-	-내진시험 · 인장 · 전단 · 인장-전단	- 최대하중 0.2F로 시작하여 0.2F씩 파괴시까지 증분 (최소하중은 -500 lbs) - 진동수 5 Hz - 단계별 40 사이클 - 조합시험 : 인장/전단 = 1.732	- 앵커 relaxation 영향평가 : 100%, 50%, 0% - loading plate hole : 앵커 직경 + 1/16"	- cyclic 시험중 1"	- cyclic 하중을 앵커파괴 시까지 지속증분	
5 [13]	Hilti HSLG-N heavy-duty anchor M20, M24, HSA stud anchor M12, M16, M20	ENEL (Italian Energy Authority) 1987.2.27	ASTM E488-84 (ref.)	- 내진 및 피로시험 · 인장 · 전단	- 하중조건 : 그림 3	- 앵커 relaxation : 90% - loading bar hole : clearance 유지	-	- cyclic 시험후 정적 인장시험 수행	
6 [14]	Hilti KB II, φ 1/2"	Ontario Hydro Research Div., Canada 1989. 8. 2	-	- 내진인장 시험	- 최대하중 · 설계하중 200 사이클, 2배의 설계하중 40 사이클 - 진동수 10 Hz	- 앵커 relaxation : 78%	- cyclic 시험중 1/2"	- cyclic 시험후 정적시험	
7 [15]	Hilti HSLG, M8-M24	University of Texas at Austin, U.S.A. 1994. 6. 2	ASTM E488-90 (ref.)	- 피로인장 시험	- 파형: pulsating - 하중크기 · 최소는 최대의 10% - 진동수 : 12-15 Hz, constant - 사이클 수 2×10 ⁶ 회	- 앵커 relaxation : 50% - loading plate hole size 및 두께 : E488 요건 적용	-	- cyclic 시험후 정적시험	