최종보고서(일반과제용)

보안등급
일반[✔], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	국토교통기술촉진연구사업	
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명	국토교통기술혁신연구 (기반연구 유형)	
공고번호	공고-제05호	연구개발과제번호		20CTAP-C157476-02	
국가과학기술 표준분류	EI0406	60%	EI1102	40%	-	-
연구주제	(대분류) 재난·재해예방 등 안전기술개발	(중분류) 예방형 재난대응 시스템		(소분류) 저비용 내진보강공법	

연구개발과제명	국문	균열보수성능을 확보한 콘크리트용 후설치 앵커 개발
	영문	Developement of Mechanical Anchors for Concrete with Crack Repair Performance

주관연구개발기관	기관명	단국대학교 산학협력단	사업자등록번호	106-82-12299
	주소	(우) 경기도 용인시 수지구 죽전로 152, (죽전동, 단국대학교 내)	법인등록번호	-

연구책임자	성명		박 태 원	직위	부교수
	연락처	직장전화	031-8005-3751	휴대전화	010-5449-3406
		전자우편	tw001@dankook.ac.kr	국가연구자번호	1014-7469

연구개발기간	전체 2020. 04. 13 - 2021. 12. 31 (21개월)
	1년차 2020. 04. 13 - 2020. 12. 31 (9개월)
	2년차 2021. 01. 01 - 2021. 12. 31 (12개월)

연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				지방자치단체		기타( )					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	369,000	12,340	111,060	-	-	-	-	381,340	111,060	492,400	-
1년차	159,000	5,340	48,060	-	-	-	-	164,340	48,060	212,400	-
2년차	210,000	7,000	63,000	-	-	-	-	217,000	63,000	280,000	-

공동연구개발기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구개발기관	㈜원진	안영승	이사	010-2384-6453	koala@wonjinank.com	연구책임자	중소기업
위탁연구개발기관							
연구개발기관 외 기관							

연구개발담당자 실무담당자	성명		채경훈	직위	연구원
	연락처	직장전화	031-8005-3725	휴대전화	010-9482-4344
		전자우편	cjdfhr0105@naver.com	국가연구자번호	1173-9051

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 03 월 18 일

연구책임자 : 단국대학교 공과대학 건축학부 박 태 원 (직인)

주관연구개발기관의 장 : 단국대학교 산학협력단 김 호 동 (직인)

공동연구개발기관의 장 : ㈜원진 허 동 진 (직인)



국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요 약 문 >

<table>
<tr><td>사업명</td><td colspan="3">국토교통기술촉진연구사업</td><td colspan="2" rowspan="2">연구개발과제번호</td><td colspan="2" rowspan="2">20CTAP-C157476-02</td></tr>
<tr><td>내역사업명</td><td colspan="3">국토교통기술혁신연구</td></tr>
<tr><td>국가과학기술표준분류</td><td>EI0406</td><td>60%</td><td>EI1102</td><td>40%</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>연구주제</td><td colspan="2">(대분류) 재난·재해예방 등 안전기술개발</td><td colspan="2">(중분류) 예방형 재난대응 시스템</td><td colspan="2">(소분류) 저비용 내진보강공법</td></tr>
<tr><td>연구개발과제명</td><td colspan="7">균열보수성능을 확보한 콘크리트용 후설치 앵커 개발</td></tr>
<tr><td>전체 연구개발기간</td><td colspan="7">2020. 04. 13 - 2021. 12. 31 (21개월)</td></tr>
<tr><td>총 연구개발비</td><td colspan="7">총 492,400천원
(정부지원연구개발비 : 369,000천원,
기관부담연구개발비(현금) : 12,340천원, 기관부담연구개발비(현물) : 111,060천원)</td></tr>
<tr><td>연구개발단계</td><td colspan="3">기초[ ] 응용[✔] 개발[ ] 기타
(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]</td><td colspan="2">기술성숙도</td><td colspan="2">착수시점 기준( )
종료시점 목표(✔)</td></tr>
<tr><td>연구개발과제 유형</td><td colspan="7">지정공모 [ ] 자유공모 [✔]</td></tr>
<tr><td>연구개발과제 특성</td><td colspan="7">기반연구</td></tr>
<tr><td rowspan="6">연구개발목표 및 내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="6">인발과 전단성능이 향상된 후설치 앵커를 개발하고, 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템을 개발하여 후설치 앵커의 균열보수성능 검증을 목표로 함.</td></tr>
<tr><td>전체 내용</td><td colspan="6">○ 기존 후설치 앵커의 인발 및 전단성능이 향상된 개선 후설치 앵커 개발
○ 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템 개발
○ 개발한 균열시스템을 적용하여 후설치 앵커의 균열보수성능 검토</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1년차</td><td>목표</td><td colspan="6">기존 후설치 앵커의 인발 및 전단성능이 향상된 후설치 앵커 개발</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="6">○ 후설치 앵커의 성능을 결정하는 슬리브 및 헤드상세를 개선하여 인발과 전단성능이 향상된 후설치 앵커를 개발함.
○ 국내 앵커 성능 시험기준에 따라 개발한 후설치 앵커의 성능검증실험을 수행하고 이를 DB화함.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2년차</td><td>목표</td><td colspan="6">균열 콘크리트 제작·실험시스템 구축 및 개발한 후설치 앵커의 균열보수성능 검증</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="6">○ 균열 콘크리트 제작·실험시스템을 개발하여 국내 미흡한 균열 콘크리트 기술력 확보
○ 개발한 균열 콘크리트 제작·실험시스템을 적용하여 후설치 앵커의 균열보수성능 검증실험을 수행하고 이를 DB화함.</td></tr>
<tr><td>연구개발성과</td><td colspan="7">균열 콘크리트 제작 및 실험시스템 구축, 균열보수성능을 가진 후설치 앵커 개발</td></tr>
<tr><td>연구개발성과
활용방안 및
기대효과</td><td colspan="7">○ 기존 후설치 앵커의 인발 및 전단성능을 향상시켜 국외 앵커 선두주자와 동등이상의 수준을 가지는 앵커를 개발하고 이에 국내 앵커 기술력을 향상시킴.
1) 후설치 앵커의 성능검증 실험결과를 DB화하고, 이를 국내 콘크리트 앵커 설계법 제안의 기초원천 자료로써 활용 가능함
2) 건축 및 토목 구조물 등 다양한 건설 기반 시설에 적용 가능함.
○ 구축한 균열 콘크리트 제작·실험시스템을 확대·적용하여 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 기술 수준을 향상시킴.
1) 균열보수가 가능한 후설치 앵커를 개발하여 국외 선진기술 수준까지 도약할 수 있음.
2) 내진보강사업에 사용되는 후설치 앵커의 사용성과 기술 신뢰성 확보</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의
비공개 여부 및 사유</td><td colspan="7">해당없음</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2">연구개발성과의
등록·기탁 건수</td><td>논문</td><td>특허</td><td>보고서
원문</td><td>연구
시설·
장비</td><td>기술
요약
정보</td><td>소프트
웨어</td><td>표준</td><td colspan="2">생명자원</td><td rowspan="2">화합물</td><td colspan="2">신품종</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>생명
정보</td><td>생물
자원</td><td>정보</td><td>실물</td></tr>
<tr><td></td><td>4</td><td>6</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2">연구시설·장비
종합정보시스템
등록 현황</td><td>구입기관</td><td>연구시설·
장비명</td><td>규격
(모델명)</td><td>수량</td><td>구입
연월일</td><td>구입가격
(천원)</td><td>구입처
(전화)</td><td>비고
(설치장소)</td><td>ZEUS
등록번호</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>국문핵심어
(5개 이내)</td><td>후설치 앵커</td><td>형상개선</td><td>균열 콘크리트</td><td>균열보수성능</td><td>-</td></tr>
<tr><td>영문핵심어
(5개 이내)</td><td>Post-installed
Anchor</td><td>Shape
Improvement</td><td>Cracked
Concrete</td><td>Crack Repair
Performance</td><td>-</td></tr>
</table>

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 01

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 ····· 03

2.1 연구과제 개요 ····· 03

2.1.1 연구의 배경 ····· 03

2.1.2 연구의 필요성 ····· 06

2.2 연구개발 대상의 국내·외 시장현황 ····· 11

2.3 연구개발 계획 및 목표 ····· 13

2.3.1 기존 후설치 앵커 고찰 ····· 13

2.3.2 정착성능이 향상된 후설치 앵커 ····· 14

2.3.3 균열보수성능을 가진 후설치 앵커 ····· 15

2.3.4 정착성능이 향상된 후설치 앵커의 검증방안 제시(비균열 콘크리트) ····· 15

2.3.5 정착성능이 향상된 후설치 앵커의 검증방안 제시(균열 콘크리트) ····· 16

2.3.6 후설치 앵커 균열보수성능 평가를 위한 균열 콘크리트 제작 ····· 16

2.3.7 미국 ACI 및 유럽 EOTA 기준에 적합한 실험 실시 ····· 17

2.3.8 선행특허분석 ····· 17

2.3.9 기술(또는 제품) 개발 시 예상효과 및 활용방안 ····· 17

2.4 연구개발의 목표 및 내용 ····· 19

2.4.1 연구개발의 목표 및 내용 ····· 19

2.4.2 평가의 착안점 및 기준 ····· 20

2.5 연구개발의 추진전략·방법 및 추진체계 ····· 23

2.5.1 연구개발 추진전략·방법 ····· 23

2.6 연구개발 추진체계 ····· 24

2.7 추진일정 ····· 25

2.8 연구개발 성과의 활용방안 및 기대효과 ····· 26

2.8.1 연구개발 성과의 활용방안 ····· 26

2.8.2 기대효과 ····· 26

2.9 연구수행 ····· 27

2.9.1 기존 후설치 앵커의 인발 및 전단성능 향상 ····· 27

2.9.2 정착성능이 향상된 후설치 앵커의 성능평가 ····· 31

2.9.3 균열보수성능을 확보한 콘크리트용 후설치 앵커 개발 ····· 86

2.9.4 연구개발결과 ····· 114

2.9.5 연구개발 활용계획 ····· 115

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 120

4. 목표 미달 시 원인분석 ····· 136

5. 추후 보완 연구 필요사항 ····· 137

6. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 ····· 137

7. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 ····· 137

8. 참고 문헌 ····· 139

별첨자료(성과 증빙자료 등)

〈 그 림 목 차 〉

[그림 1.1] 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 성능검증연구 ····· 01
[그림 2.1.1] 선설치 앵커 (헤드볼트, 갈고리볼트 헤드스터드, 나사형 강봉 등) ····· 03
[그림 2.1.2] 후설치 앵커 (비틀림 제어 확장앵커, 언더컷 앵커, 변위제어 확장앵커, 부착식 앵커 등) ·· 03
[그림 2.1.3] 후설치 앵커의 적용분야 ····· 04
[그림 2.1.4] 후설치 앵커의 하중 메커니즘 ····· 04
[그림 2.1.5] 후설치 앵커의 설치방법 ····· 04
[그림 2.1.6] 균열이 발생한 콘크리트에서의 후설치 앵커 파괴 ····· 07
[그림 2.1.7] 균열 콘크리트에 의한 앵커 성능 저하 ····· 07
[그림 2.1.8] 후설치 앵커 파괴로 인한 피해사례 ····· 07
[그림 2.1.9] 경주지진(2016) 및 포항지진(2017)에 의한 피해사례 ····· 08
[그림 2.1.10] 국내 내진보강 업체의 내진보강사례 ····· 09
[그림 2.1.11] 후설치 앵커 적용사례 (일본) ····· 09
[그림 2.1.12] 국내 후설치 앵커의 성능시험 (콘크리트학회기준 2017) ····· 09
[그림 2.1.13] 국내 후설치 앵커의 피해사례 ····· 10
[그림 2.2.1] 국내 앵커 판매가격 및 점유율 ····· 11
[그림 2.2.2] 제품별 설계 인발성능 및 불량률 현황(M12 기준) ····· 11
[그림 2.2.3] 국내외 후설치 앵커 가격(시장 규모) ····· 12
[그림 2.3.1] 기존 후설치 앵커의 형상 및 파괴형상 ····· 13
[그림 2.3.2] 앵커의 성능을 향상시키기 위한 슬리브 및 헤드 상세 개선안 ····· 14
[그림 2.3.3] 균열보수성능을 부여하기 위한 에폭시 주입관 설치 ····· 15
[그림 2.3.4] 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 성능검증실험 ····· 16
[그림 2.3.5] 비균열 및 균열 콘크리트에서의 특성시험 ····· 16
[그림 2.3.6] 기술개발에 따른 콘크리트용 후설치 앵커 활용방안 ····· 18
[그림 2.4.1] 연구개발 목표 및 연구내용 ····· 20
[그림 2.9.1] 정착성능이 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 개선안 ····· 27
[그림 2.9.2] 비틀림 제어 확장앵커의 하중메커니즘 ····· 27
[그림 2.9.3] 슬리브 및 헤드부 개선을 통한 최적 형상 도출 ····· 28
[그림 2.9.4] 각 변수별 해석결과에 대한 모델 상세비 ····· 30
[그림 2.9.5] 각 변수별 인발하중 비교 ····· 30
[그림 2.9.6] 유한요소해석 결과 ····· 31
[그림 2.9.7] 비균열 콘크리트 시험체 계획 ····· 33

[그림 2.9.8] 앵커 설치 간격 산정 ····· 34
[그림 2.9.9] 후설치 앵커 성능실험을 위한 인발 및 전단시험 셋팅도 ····· 35
[그림 2.9.10] 각 직경별 앵커의 인장 및 전단하중 산정 ····· 35
[그림 2.9.11] 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능실험을 위한 콘크리트 모재 제작 및 앵커 설치 과정 · 36
[그림 2.9.12] 콘크리트 공시체 압축강도시험 ····· 37
[그림 2.9.13] 저강도 콘크리트 압축강도시험결과 ····· 38
[그림 2.9.14] 고강도 콘크리트 압축강도시험결과 ····· 38
[그림 2.9.15] 각 직경별 앵커의 콘크리트 콘파괴 면적 ····· 42
[그림 2.9.16] 시험번호 ① 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교) ····· 44
[그림 2.9.17] 시험번호 ② 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교) ····· 46
[그림 2.9.18] 0.3㎜ 균열 콘크리트 제작 ····· 47
[그림 2.9.19] $T=0.5T_{isnt}$ 토크 가력 ····· 47
[그림 2.9.20] 시험번호 ③ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교) ····· 49
[그림 2.9.21] 큰 앵커 구멍 직경 측정 ····· 50
[그림 2.9.22] 큰 앵커 구멍 콘크리트 ····· 50
[그림 2.9.23] 시험번호 ④ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교) ····· 52
[그림 2.9.24] 작은 앵커 구멍 직경 측정 ····· 53
[그림 2.9.25] 작은 앵커 구멍 콘크리트 ····· 53
[그림 2.9.26] 시험번호 ⑤ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교) ····· 55
[그림 2.9.27] 반복가력시험 Set-up ····· 56
[그림 2.9.28] 반복가력시험 Set-up 현황 ····· 56
[그림 2.9.29] 시험번호 ⑥ 시험결과 (M8) ····· 58
[그림 2.9.30] 시험번호 ⑥ 시험결과 (M10) ····· 58
[그림 2.9.31] 시험번호 ⑥ 시험결과 (M12) ····· 58
[그림 2.9.32] 시험번호 ⑥ 시험결과 (M16) ····· 59
[그림 2.9.33] 시험번호 ⑥ 시험결과 (M20) ····· 59
[그림 2.9.34] 시험번호 ⑥ 시험결과 (각 직경별 앵커 잔류강도 비교) ····· 60
[그림 2.9.35] 연단거리 $1.5h_{ef}$를 갖는 모서리 시험의 파괴모드 ····· 61
[그림 2.9.36] 모서리에서의 후설치 앵커 최종파괴형상 ····· 61
[그림 2.9.37] 시험번호 ⑦ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교) ····· 64
[그림 2.9.38] 최소 간격으로 설치된 앵커 시험 ····· 65
[그림 2.9.39] 최소 간격으로 설치된 후설치 앵커 하중 작용 ····· 65
[그림 2.9.40] 시험번호 ⑧ 시험결과 (M8) ····· 71
[그림 2.9.41] 시험번호 ⑧ 시험결과 (M10) ····· 71
[그림 2.9.42] 시험번호 ⑧ 시험결과 (M12) ····· 72

[그림 2.9.43] 시험번호 ⑧ 시험결과 (M16) ····· 72
[그림 2.9.44] 시험번호 ⑧ 시험결과 (M20) ····· 73
[그림 2.9.45] 앵커의 전단성능 검토를 위한 시험 Set-up ····· 74
[그림 2.9.46] 전단하중을 받는 앵커의 최종파괴형상 ····· 74
[그림 2.9.47] 시험번호 ⑨ 시험결과 (각 직경별 앵커 전단하중 비교) ····· 76
[그림 2.9.48] 기존 및 개선 후설치 앵커의 확장부(슬리브 및 헤드) 비교 ····· 79
[그림 2.9.49] 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M8) ····· 80
[그림 2.9.50] 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M10) ····· 81
[그림 2.9.51] 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M12) ····· 82
[그림 2.9.52] 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M16) ····· 83
[그림 2.9.53] 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M20) ····· 84
[그림 2.9.54] 국내외 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 설계기준 및 지침 ····· 86
[그림 2.9.55] 연구자들의 실험적 노하우에 따른 균열시스템 구축 ····· 87
[그림 2.9.56] 반복하중을 받는 앵커의 거동에 의한 콘크리트 균열유발방법 ····· 87
[그림 2.9.57] 쐐기삽입을 통한 균열유발방법 ····· 88
[그림 2.9.58] 철근 제어를 통한 균열유발방법 ····· 89
[그림 2.9.59] 균열보수성능을 확보한 후설치 앵커의 성능검증을 위한 실험시스템 ····· 89
[그림 2.9.60] 균열 콘크리트 실험시스템 Set-up ····· 90
[그림 2.9.61] 1차 균열 콘크리트 실험체 제작 ····· 91
[그림 2.9.62] 1차 균열 시스템 검토결과 ····· 91
[그림 2.9.63] 2차 균열 콘크리트 실험체 제작 ····· 92
[그림 2.9.64] 2차 균열 시스템 검토결과 ····· 92
[그림 2.9.65] 균열 콘크리트 실험체 제작안 ····· 93
[그림 2.9.66] 균열 콘크리트 실험체 상세 ····· 94
[그림 2.9.67] 균열 콘크리트 실험체 도면 ····· 95
[그림 2.9.68] 균열 콘크리트에서의 실험 Set-up ····· 97
[그림 2.9.69] 균열 콘크리트 실험체 제작과정 ····· 99
[그림 2.9.70] 균열 콘크리트에서의 비틀림 제어 확장앵커 실험과정 ····· 100
[그림 2.9.71] 콘크리트 공시체 압축강도시험 ····· 102
[그림 2.9.72] 저강도 콘크리트 압축강도시험결과 ····· 103
[그림 2.9.73] 고강도 콘크리트 압축강도시험결과 ····· 103
[그림 2.9.74] 시험번호 ③ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교) ····· 105
[그림 2.9.75] 시험번호 ④ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교) ····· 106
[그림 2.9.76] 큰 앵커 구멍 직경 측정 ····· 107
[그림 2.9.77] 시험번호 ⑥ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교) ····· 108

[그림 2.9.78] 작은 앵커 구멍 직경 측정 ····· 109
[그림 2.9.79] 시험번호 ⑦ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교) ····· 110
[그림 2.9.80] 균열폭 주기 횟수 ····· 111
[그림 2.9.81] 시험번호 ⑦ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교) ····· 112
[그림 2.9.82] 2층 골조 내진보강공법 성능실험 및 보강재 연결을 위한 후설치 앵커의 EPP모델(전단모델) 해석 연구 ····· 115
[그림 2.9.83] 신·구 슬래브 접합 시 후설치 앵커를 활용한 접합부 상세 개발 ····· 115
[그림 2.9.84] 시제품 양산 과정 ····· 116
[그림 2.9.85] 글로벌 앵커 볼트 시장 규모 현황 ····· 117
[그림 2.9.86] 개발 후설치 앵커 개요 및 시공 매뉴얼 ····· 118
[그림 2.9.87] 매뉴얼에 의거한 실제 앵커 설치 과정 ····· 119
[그림 2.9.88] 기존 및 개선 후설치 앵커의 파괴형상 비교 ····· 120
[그림 2.9.89] 균열 시스템 개발 및 비틀림 제어 확장앵커 균열보수성능 검증실험 ····· 121
[그림 2.9.90] KTR 시험성적서(저강도 균열을 가진 M16 후설치 앵커) ····· 122
[그림 2.9.91] KTR 시험성적서(고강도 균열을 가진 M16 후설치 앵커) ····· 122
[그림 2.9.92] KTR 시험성적서(저강도 균열을 가진 M20 후설치 앵커) ····· 123
[그림 2.9.93] KTR 시험성적서(고강도 균열을 가진 M20 후설치 앵커) ····· 123

〈 표 목 차 〉

<표 2.1.1> 전단력에 의한 후설치 앵커의 파괴 유형 ····· 05
<표 2.1.2> 인장력에 의한 후설치 앵커의 파괴 유형 ····· 06
<표 2.2.1> 국내외 주요시장 현황 ····· 12
<표 2.3.1> 기존 후설치 앵커의 성능 ····· 13
<표 2.4.1> 연차별 정략적 연구성과 목표 및 달성도 ····· 22
<표 2.9.1> 최적 형상 도출을 위한 해석 변수 계획 ····· 28
<표 2.9.2> 유한요소해석을 위한 메시 상세 ····· 29
<표 2.9.3> 유한요소해석을 위한 재료 상세 ····· 29
<표 2.9.4> 유한요소해석결과 (인발하중 비교) ····· 30
<표 2.9.5> 최종 설계안 ····· 31
<표 2.9.6> '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집' 앵커시스템 평가를 위한 시험 프로그램 (비균열 콘크리트) ····· 32
<표 2.9.7> 후설치 앵커 성능검증 계획 ····· 33
<표 2.9.8> 각 직경별 앵커 설치 간격 (제조사에서 명시한 유효묻힘깊이) ····· 34
<표 2.9.9> 각 직경별 앵커의 설계강도 산정 ····· 35
<표 2.9.10> 앵커 강재 특성시험 ····· 37
<표 2.9.11> 콘크리트 압축강도시험결과 ····· 38
<표 2.9.12> 비균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 성능평가시험 계획 (1) ····· 40
<표 2.9.13> 비균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 성능평가시험 계획 (2) ····· 41
<표 2.9.14> 시험번호 ① 인발시험결과 ····· 42
<표 2.9.15> 시험번호 ② 인발시험결과 ····· 42
<표 2.9.16> 시험번호 ① 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값) ····· 43
<표 2.9.17> 시험번호 ② 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값) ····· 45
<표 2.9.18> 시험번호 ③ 인발시험결과 ····· 47
<표 2.9.19> 시험번호 ③ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값) ····· 48
<표 2.9.20> 큰 앵커 구멍 직경 측정 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집' ····· 50
<표 2.9.21> 시험번호 ④ 인발시험결과 ····· 50
<표 2.9.22> 시험번호 ④ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값) ····· 51
<표 2.9.23> 작은 앵커 구멍 직경 측정 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집' ····· 53
<표 2.9.24> 시험번호 ⑤ 인발시험결과 ····· 53
<표 2.9.25> 시험번호 ⑤ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값) ····· 54

<표 2.9.26> 반복하중시험결과 ····· 56
<표 2.9.27> 시험번호 ⑥ 시험결과 (각 직경별 앵커의 잔류강도 시험결과 값) ····· 57
<표 2.9.28> 모서리 시험결과 ····· 61
<표 2.9.29> 시험번호 ⑦ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값) ····· 62
<표 2.9.30> 시험번호 ⑦ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값) ····· 63
<표 2.9.31> 앵커 설치간격 산정 ····· 65
<표 2.9.32> 최소 간격으로 설치된 앵커의 비틀림력 산정 ····· 65
<표 2.9.33> 시험번호 ⑧ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값) ····· 65
<표 2.9.34> 시험번호 ⑧ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값) ····· 67
<표 2.9.35> 시험번호 ⑧ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값) ····· 68
<표 2.9.36> 시험번호 ⑧ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값) ····· 69
<표 2.9.37> 시험번호 ⑧ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값) ····· 70
<표 2.9.38> 시험번호 ⑨ 인발시험결과 ····· 74
<표 2.9.39> 시험번호 ⑨ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값) ····· 75
<표 2.9.40> 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M8) ····· 80
<표 2.9.41> 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M10) ····· 81
<표 2.9.42> 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M12) ····· 82
<표 2.9.43> 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M16) ····· 83
<표 2.9.44> 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M20) ····· 84
<표 2.9.45> 비균열 콘크리트에서의 앵커 시험보고서 ····· 85
<표 2.9.46> 연구목표 ····· 86
<표 2.9.47> 실험장비 현황 ····· 90
<표 2.9.48> '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집' 앵커시스템 평가를 위한 시험 프로그램 (비균열, 균열 콘크리트) ····· 96
<표 2.9.49> 각 직경별 앵커의 설계강도 산정 ····· 101
<표 2.9.50> 균열 콘크리트에서의 비틀림 제어 확장앵커 성능평가시험 계획 ····· 101
<표 2.9.51> 앵커 강재 특성시험 ····· 102
<표 2.9.52> 콘크리트 압축강도시험결과 ····· 103
<표 2.9.53> 시험번호 ③ 인발시험결과 ····· 104
<표 2.9.54> 시험번호 ④ 인발시험결과 ····· 104
<표 2.9.55> 시험번호 ③ 시험결과 ····· 105
<표 2.9.56> 시험번호 ④ 시험결과 ····· 106
<표 2.9.57> 시험번호 ⑥ 인발시험결과 ····· 107
<표 2.9.58> 시험번호 ⑥ 시험결과 ····· 108
<표 2.9.59> 시험번호 ⑦ 인발시험결과 ····· 109

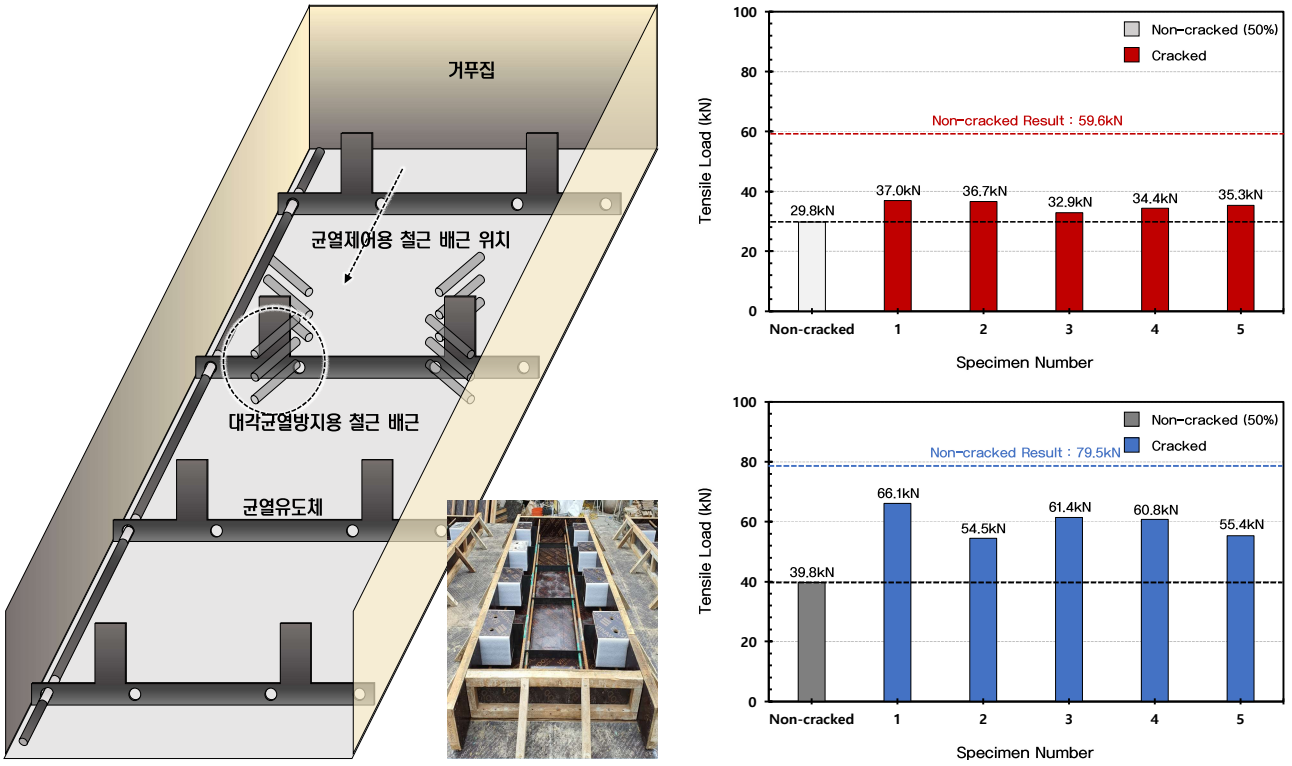
<표 2.9.60> 시험번호 ⑦ 시험결과 ····· 110
<표 2.9.61> 시험번호 ⑧ 인발시험결과 ····· 111
<표 2.9.62> 시험번호 ⑧ 시험결과 ····· 112
<표 2.9.63> 국내외 주요시장 현황 ····· 117
<표 2.9.64> 기존 및 개선 후설치 앵커의 성능비교 ····· 120
<표 2.9.65> 비균열 및 균열을 가진 후설치 앵커의 성능비교 ····· 121

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

○ 후설치 앵커의 형상을 개선하여 콘크리트의 균열상황(0.3㎜)에 대해서도 정상상황(비균열 콘크리트)의 50% 이상 성능을 발현하는 콘크리트용 후설치 앵커를 개발함.

- 기존 후설치 앵커의 상세(슬리브 및 헤드부)를 개선하여 인발 및 전단성능이 향상된 후설치 앵커를 개발함.
- 콘크리트 허용균열 외 균열폭을 용이하게 유발할 수 있는 시스템을 개발하고, 이를 적용할 수 있는 실험체 상세를 개발하여 균열이 발생한 콘크리트에서 후설치 앵커의 성능을 평가할 수 있는 성능검증법을 제시함.
- 비균열 및 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 성능검증실험을 수행하고, 이에 대한 DB를 구축함.
- 균열이 발생한 콘크리트에서 균열보수성능을 가지는 후설치 앵커를 개발함.



[그림 1.1] 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 성능검증연구

2) 연구개발과제의 연차별 목표

○ 1차년도 : 인발/전단 및 균열보수성능이 개선된 후설치 앵커 개발

- 기존 후설치 앵커의 성능을 결정하는 슬리브 및 헤드부 상세를 개선하여 인발과 전단성능이 향상된 후설치 앵커를 개발하고, 국내 앵커 성능검증 시험기준을 따라 성능검증실험(M10, M12, M16)을 수행한 후 이를 DB화함.
- 콘크리트의 균열은 후설치 앵커의 인발성능을 저하시킴. 이에 균열보수성능을 확보한 콘크리트용 후설치 앵커를 개발함.

○ 2차년도 : 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 성능 및 내진성능 검토

- 후설치 앵커의 균열보수성능을 검증할 수 있는 균열 콘크리트 실험체 제작 및 실험시스템 개발
- 개발한 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템을 적용하여 균열(0.3㎜)이 발생한 콘크리트에서 후설치 앵커의 성능검증실험을 수행하고, 이를 DB화함.

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준		연구개발 목표치 (인발/전단)	목표치 설정 근거	가중치 (%)
			국내 (인발/전단)	국외 (인발/전단)			
1년차 (2020)	후설치 앵커의 성능개선	인발 및 전단성능이 향상된 후설치 앵커 (시제품)	25.9kN / 26.1klN	25.8kN / 26.1klN	29kN / 30kN	기존 시험결과 및 문헌자료에 따른 목표설정	25
	각 직경별 앵커의 성능검증실험	인발 및 전단성능이 향상된 후설치 앵커 시험결과(DB)					25
2년차 (2021)	균열보수성능을 갖는 후설치 앵커 성능검증	균열보수성능을 갖는 후설치 앵커 시험결과(DB)	비균열 상황에서의 50%	비균열 상황에서의 50%	비균열 상황에서의 60%	국내·외 설계기준 및 문헌자료에 따른 목표설정	25
	콘크리트 모재에 균열 유발 및 앵커 성능실험시스템 개발	균열 콘크리트 제작 및 실험시스템 구축 (특허)					25

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용

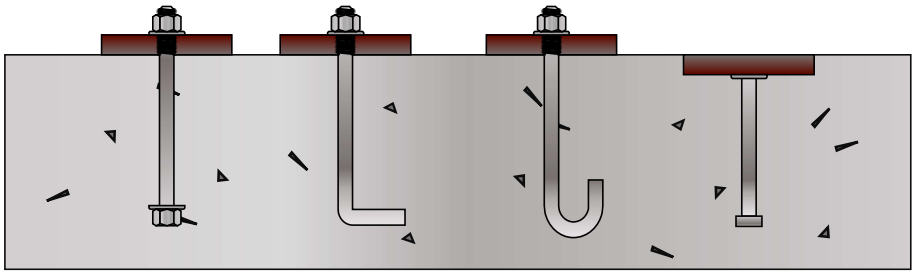
2.1 연구과제 개요

2.1.1 연구의 배경

(1) 후설치 앵커

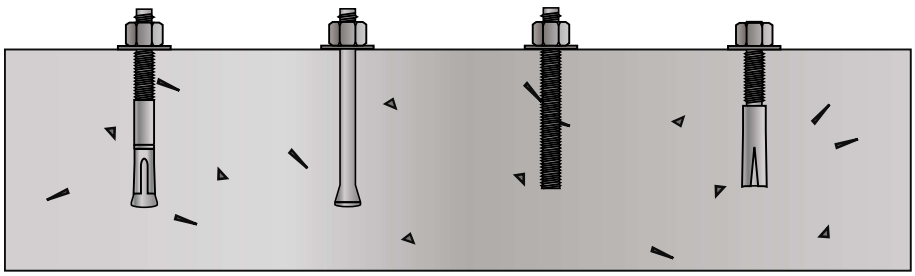
○ 콘크리트용 앵커는 콘크리트 구조물에 설치되어 구조체나 비구조체 등을 연결하고 외부하중을 콘크리트에 전달하는 구조재료로써 사용되고 있으며, 선설치 앵커와 후설치 앵커로 구분됨.

○ 선설치 앵커는 콘크리트를 타설하기 전에 설치하는 앵커로써, 콘크리트가 타설된 후 경화됨에 따라 콘크리트와 일체가 되는 앵커임. 앵커의 정착부는 콘크리트 내부에 삽입시켜두고 나사산 부분만 콘크리트 외부로 돌출시켜 추후 하중전달요소와 결합하여 사용하는 방식임. 선설치 앵커는 콘크리트 타설 전 설치되어 양생이 완료되면 하중전달성능이 매우 우수하나 시공이 어렵고, 콘크리트가 경화되면 시공목적에 따른 수정이 불가능한 단점이 있음.



[그림 2.1.1] 선설치 앵커 (헤드볼트, 갈고리볼트 헤드스터드, 나사형 강봉 등)

○ 후설치 앵커는 콘크리트가 경화되거나 사용하중상태에서 설치하는 앵커로써, 콘크리트 구조물에 구조체나 비구조체 등을 부착하여 외부하중을 콘크리트에 전달하는 구조연결재임. 콘크리트 모재에 설치하고자 하는 앵커의 규격에 따라 홀을 천공한 후 앵커를 설치하는 방식으로, 모재 콘크리트와 앵커 사이에 기계적 특성(마찰력, 걸림력 등)이 작용하여 하중만을 전달하도록 상세가 이루어져 있음. 후설치 앵커의 경우, 콘크리트가 타설되기 전 설치하는 선설치 앵커보다 하중전달성능이 다소 부족하고 콘크리트 모재의 성능을 저하시키지만 콘크리트 골조가 완성된 후 또는 준공 후 하중전달이 필요할 경우에 설치하여 시공목적에 따른 성능을 확보할 수 있는 장치로서 적용사례가 매우 많음.



[그림 2.1.2] 후설치 앵커 (비틀림 제어 확장앵커, 언더컷 앵커, 변위제어 확장앵커, 부착식 앵커 등)

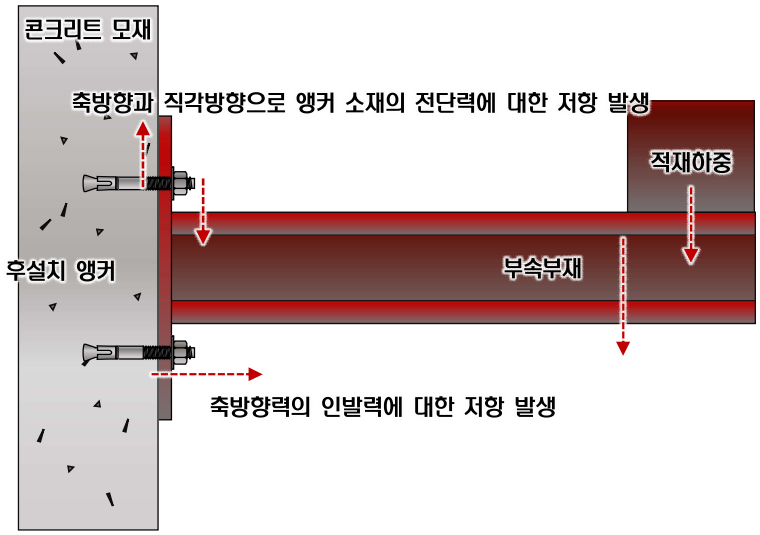
○ 후설치 앵커의 적용범위는 커튼월 고정, 철골 보강재 부착, 각종 부속설비 부착 등 많은 사례에 사용되고 있음. 교량, 터널 등 각종 시설물에도 매우 광범위하게 사용되고 있음. 또한, 노후 건축물의 리모델링 계획 시 기존 구조체의 구조보강으로도 사용되고 있음. 최근에는 지진발생빈도가 많아짐에 따라 기존 건축물의 내진보강공사에 기존 구조체 및 보강 구조체의 접합을 위한 구조요소로도 많이 사용되고 있음.



[그림 2.1.3] 후설치 앵커의 적용분야

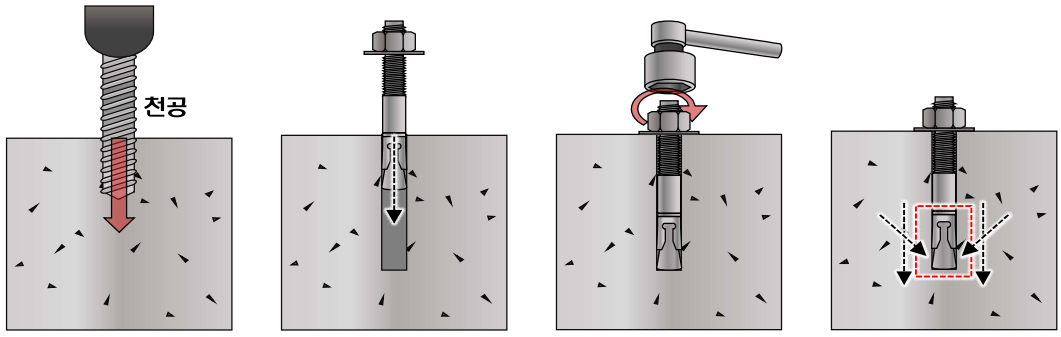
(2) 후설치 앵커 하중제어방식

○ 후설치 앵커의 하중작용은 콘크리트 모재에 앵커를 설치한 후, 앵커의 축방향으로 작용하는 인발에 대한 저항과 축방향과 직각방향으로 작용하는 앵커 소재에 대한 전단력을 저항하는 것이 하중의 주요 흐름임.



[그림 2.1.4] 후설치 앵커의 하중 메커니즘

○ 후설치 앵커는 단일 개체로 설치할 경우 10kN 내외의 힘을 전달할 수 있으며, 그룹형으로 배치하면 수십kN의 힘을 부가적인 장비 없이 구조체에 전달할 수 있음. 또한, 작업방법이 간단하고 용이하여 작업인원도 많이 필요하지 않음. [그림 2.1.5]와 같이 천공, 앵커 삽입, 토크 조임, 슬리브 확장의 단계로 이루어져 설치방법이 쉽고 용이하여 사용부재의 하중을 구조부재로 전달할 수 있으며, 설치 후 바로 사용할 수 있어 시공성이 매우 우수함.



[그림 2.1.5] 후설치 앵커의 설치방법

○ 후설치 앵커의 경우, 간단하고 용이한 시공성에 비하여 별다른 안전장치가 없어 앵커 파괴 시 그 피해가 크게 발생할 수 있음. 후설치 앵커의 경우, 앵커에 과하중이 작용하게 되면 다음과 같은 파괴 메커니즘을 발생시킬 수 있어 적합한 시방 및 설계단계가 반드시 필요함.

① 강재파괴

: 강재파괴는 앵커의 유효묻힘깊이가 깊어 정착성능이 높아짐에 따라 앵커 강재강도가 콘크리트파괴 및 뽑힘파괴보다 약할 경우 발생하며, 앵커에 전단력이 작용할 시 주로 발생하는 파괴모드임.

② 쪼갬파괴

: 콘크리트 부재의 크기가 작거나 설치된 앵커의 간격 또는 연단거리가 충분히 확보되지 않을 경우, 콘크리트 파괴강도가 충분히 발현되지 못하여 발생하는 파괴모드임. 비틀림 제어 확장앵커의 경우, 적정 토크 이상의 토크를 가력하면 설치 시 쪼갬파괴가 발생할 수 있음.

③ 뽑힘파괴

: 콘크리트 모재에 설치된 앵커의 지압면적이 작거나 앵커가 강재 및 콘크리트파괴를 유발하기에 콘크리트에 대한 저항 능력이 부족할 경우 발생하며 앵커 설계에 있어 치명적인 파괴모드임.

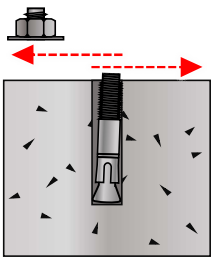
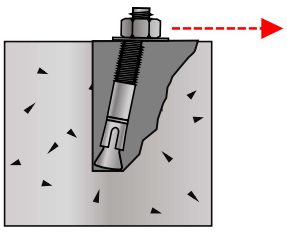
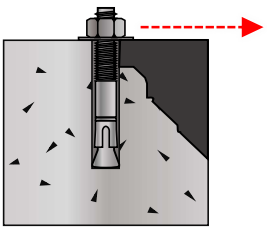
④ 콘크리트 측면파괴

: 앵커가 콘크리트 모재 연단에 충분한 연단거리를 확보하지 못한 경우에 발생하는 파괴모드로, 콘크리트 모재의 측면이 탈락하여 발생함.

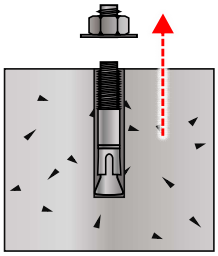
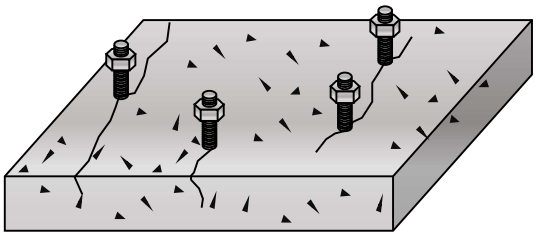
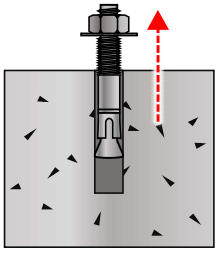
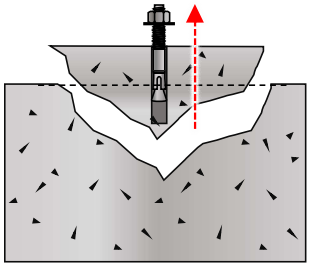
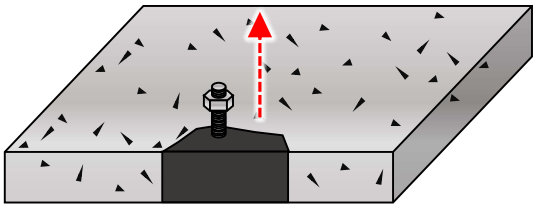
⑤ 콘크리트파괴

: 콘크리트 강도에 의한 결과값이 지배적인 파괴모드로 앵커의 기능적 특성에 따라 성능이 결정되며, 인장과 전단에 의한 콘크리트 콘파괴, 프라이아웃파괴 등이 있음. 이 중 콘크리트 콘파괴의 경우 콘크리트와 앵커의 성능을 모두 이용하는 파괴모드로 앵커 설계 시 가장 많이 이용됨.

<표 2.1.1> 전단력에 의한 후설치 앵커의 파괴 유형

유형	파괴유형	사진
강재파괴		
프라이아웃 파괴		
콘크리트파괴		

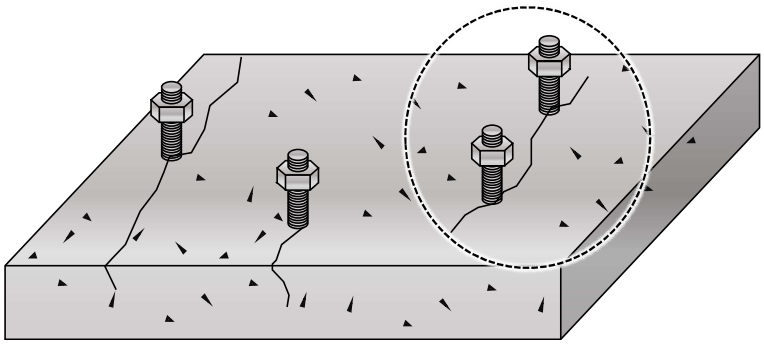
<표 2.1.2> 인장력에 의한 후설치 앵커의 파괴 유형

유형	파괴유형	사진
강재파괴		
쪼갬파괴		
뽑힘파괴		
콘크리트파괴		
		

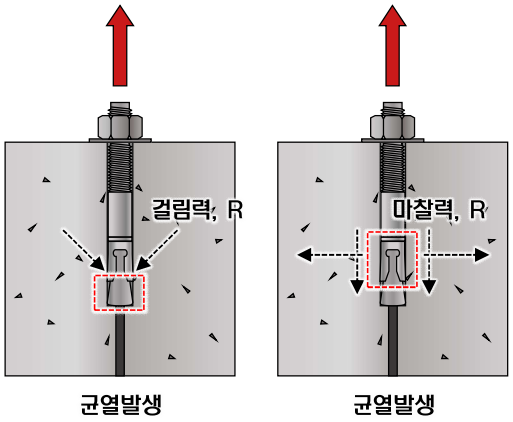
2.1.2 연구의 필요성

(1) 균열이 발생한 콘크리트에서의 앵커 성능

○ 최근 콘크리트의 성능이 향상되고 사용하중이 커지면서 콘크리트 구조물에 균열을 허용하는 경우가 발생하고 있음. 이는 후설치 앵커가 설치된 천공홀의 직경을 확장시켜 후설치 앵커의 지지력을 저하시키는 치명적인 하자를 발생시키게 됨. 특히, 후설치 앵커가 설치되는 부분은 앵커와 콘크리트가 정착된 부위로 응력이 집중되어 있어 외부하중이 작용하면 대부분 설치한 앵커 주위로 균열이 발생하게 되며, [그림 2.1.6]과 같이 앵커를 관통하는 균열이 발생하는 경우가 대부분임.



[그림 2.1.6] 균열이 발생한 콘크리트에서의 후설치 앵커 파괴



[그림 2.1.7] 균열 콘크리트에 의한 앵커 성능 저하

○ 균열은 콘크리트에 설치된 후설치 앵커의 지지력을 저하시켜 쪼갬 및 뽑힘파괴를 유도함.

- 일반적인 앵커 설계는 앵커의 강재파괴나 콘크리트 콘파괴로 유도하여 재료의 성능을 충분히 사용하고 파괴에 이르게 설계함.
- 쪼갬 및 뽑힘파괴는 콘크리트의 성능 및 앵커 강재의 성능을 충분히 사용하지 못하고 파괴되는 것으로, 균열이 발생한 경우에는 더욱 치명적인 파괴모드임. 따라서, 후설치 앵커 설계값의 안전성을 보장할 수 없음.
- 콘크리트에 균열이 발생하면 앵커 설치를 위한 천공홀의 단면적이 넓어짐. 이에 따라 콘크리트와 앵커 사이의 걸림력 및 마찰력이 저감되고, 후설치 앵커의 탈락으로 이어져 각종 사고를 유발시킴.
- 콘크리트는 건조수축 및 열화에 의해 노후화될수록 재료의 성질이 변질되어 균열이 유발될 확률이 높아지며, 구조체에 작용하는 과하중 하에서도 균열이 발생할 수 있음.
- 균열이 발생한 콘크리트에서 후설치 앵커의 성능은 내진성능과도 큰 관련이 있음. 콘크리트에 설치된 후설치 앵커는 콘크리트와 후설치 앵커가 정착된 부분에 응력이 집중되므로 충격이나 반복하중이 작용하면 앵커의 설치부에서 균열이 발생하게 됨. 또한, 지진하중 작용 시 콘크리트 구조물 내부 철근이 거동하면서 균열 또는 파괴를 발생시키고 이는 후설치 앵커의 탈락을 유발시키는 메커니즘임.

○ 앵커의 파괴로 인한 인명 및 물적 피해사례

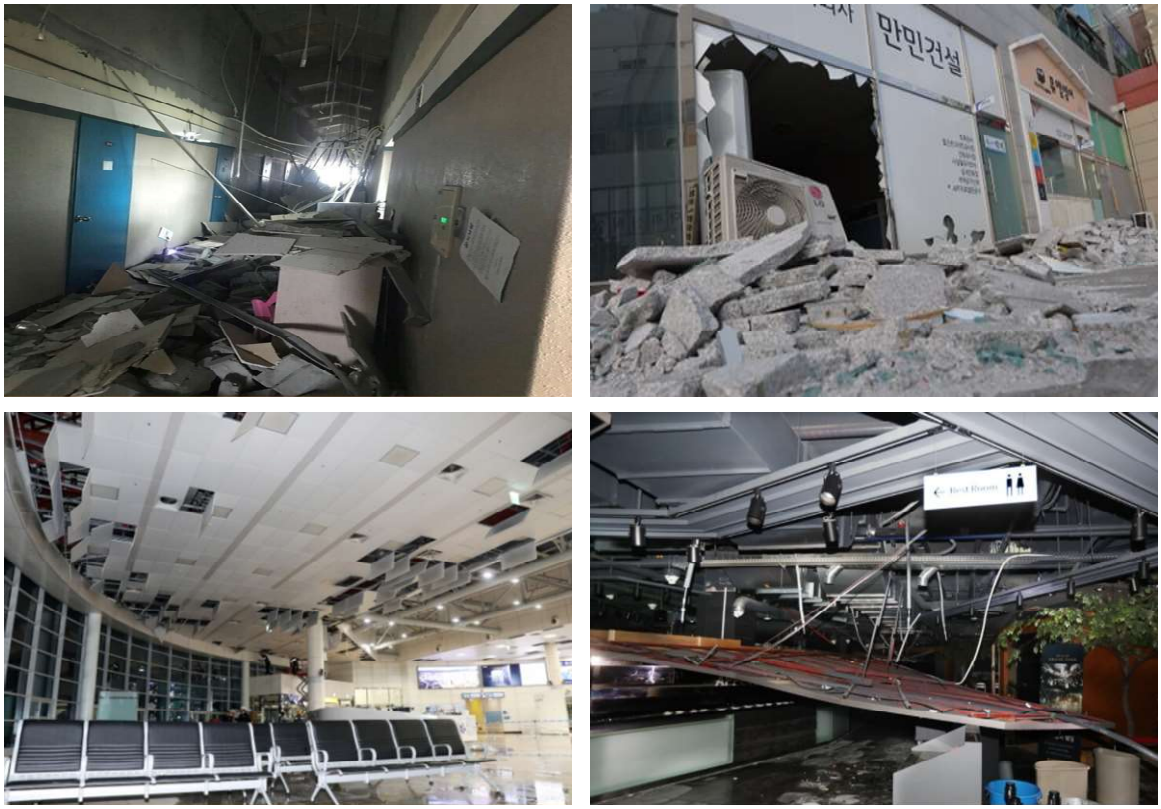
- 후설치 앵커의 파괴는 재산상의 피해뿐만 아니라 인명피해까지 야기시켜 건설현장에서 반드시 해결방안을 마련해야함. 특히, 건축물의 시공과정에서 가설 시설물이나 노후 교량 등의 유지관리 시 사고가 집중되고 있어 이에 대한 대안을 마련해야 함.
- 후설치 앵커에 의한 피해는 인명피해뿐만 아니라 시공 현장의 작업성 불편 및 구조 안전성의 위험을 초래하는 위험 요소이며, 허용하중 이상의 외력에 의하여 앵커의 탈락이 발생할 경우 인명 및 재산피해가 매우 크게 발생함.
- 후설치 앵커의 고정길이가 짧아 가설 곤돌라가 추락한 인명사고, ACS폼 인상 작업 중 ACS폼의 하중을 지지하는 볼트가 빠져 추락한 사고, 내민 슬래브를 지지하던 철골빔의 앵커 탈락으로 인한 붕괴사고 등 앵커로 인한 많은 사고사례가 발생하고 있음.



[그림 2.1.8] 후설치 앵커 파괴로 인한 피해사례

(2) 지진하중 발생 시 후설치 앵커의 성능

○ 우리나라는 환태평양 지진대에 위치하는 주변국보다 비교적 지진에 대해 안전한 지역으로 인식되었으나, 2016년 9월 12일 규모 5.8(역대 1위)과 5.1(역대 5위)의 경주지진이 발생한데 이어, 2017년 11월 15일 규모 5.5(역대 2위)의 포항지진이 발생하여 많은 인명 및 재산피해가 발생하였음([그림 2.1.9] 참조).



[그림 2.1.9] 경주지진(2016) 및 포항지진(2017)에 의한 피해사례

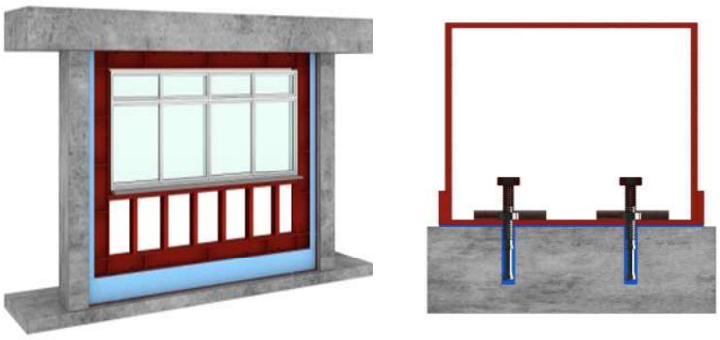
○ 경주지진(2016)과 포항지진(2017)에 의해 우리나라는 더 이상 지진 안전지대가 아님을 확인하였으며, 최근 지진발생 빈도가 높아지고 발생지역이 확산됨에 따라 지진재해에 대한 우려가 고조되고 있음. 특히, 무시할 수 없는 수준인 규모 5.0 이상의 지진이 최근 우리나라에 자주 발생하고 있으며, 정부 및 지방자치단체에서는 기존 공공 및 민간건축물에 대하여 내진보강 대책을 수립하고 있음

○ 지진재해는 일반적으로 피해 규모와 지역이 광범위하며, 특히 우리나라와 같이 도시화 및 산업화가 급속히 진행된 사회에서는 지진 발생 시 사회·경제 활동이 마비될 수 있고 장기간에 걸쳐 직·간접적으로 국가 경제에 심각한 영향을 줄 수 있음. 따라서, 우리나라에서도 지자체 및 국가 차원에서 지진 재난으로부터 국민의 생명과 재산을 보호하고 피해를 최소화하기 위한 대책이 마련되어야 함.

○ 지진하중에 대한 후설치 앵커의 피해 현황은 경주지진(2016) 및 포항지진(2017)에서 그 위험성에 대해 충분히 학습한 바 있음. [그림 2.1.9]는 포항지진 발생 시 건물외벽에 후설치 앵커를 사용하여 외벽마감재로 부착해놓은 석재가 지진에 의해 파괴되어 건물 앞에 떨어진 모습을 보여주고 있음. 이에 최근에는 경량외벽마감재를 부착하는 경우도 있으나, 대부분 중량물의 외벽마감재는 후설치 앵커를 이용하여 건물에 부착하는 공법을 사용하고 있으며, 공사가 쉽고 공기도 빨라 적용 예가 급격히 상승하고 있음. 또한, 커튼월의 경우에도 유리를 잡아주는 프레임은 후설치 앵커를 이용하여 프레임을 고정하고 유리를 설치하는 공법이 가장 많이 적용되고 있음.

○ 경주지진(2016)과 포항지진(2017) 이후, 내진보강사업이 급격히 증가되고 있음. 구조체 자체를 보강하는 공법보다는 강성과 강도가 큰 부재를 기존 부재에 부착하는 공법의 적용이 대부분이며, 기존 구조

체와 보강재의 접합요소로 후설치 앵커를 이용하여 내진보강을 수행하고 있음. [그림 2.1.10]은 국내 내진보강공사에 적용되는 대표적인 공법으로 기존 구조체와 보강재 사이는 후설치 앵커를 사용하여 접합하고 있음. 이는 [그림 2.1.11]과 같이 강진지역인 일본도 동일한 공법을 적용하고 있음.



[그림 2.1.10] 국내 내진보강 업체의 내진보강사례



[그림 2.1.11] 후설치 앵커 적용사례 (일본)

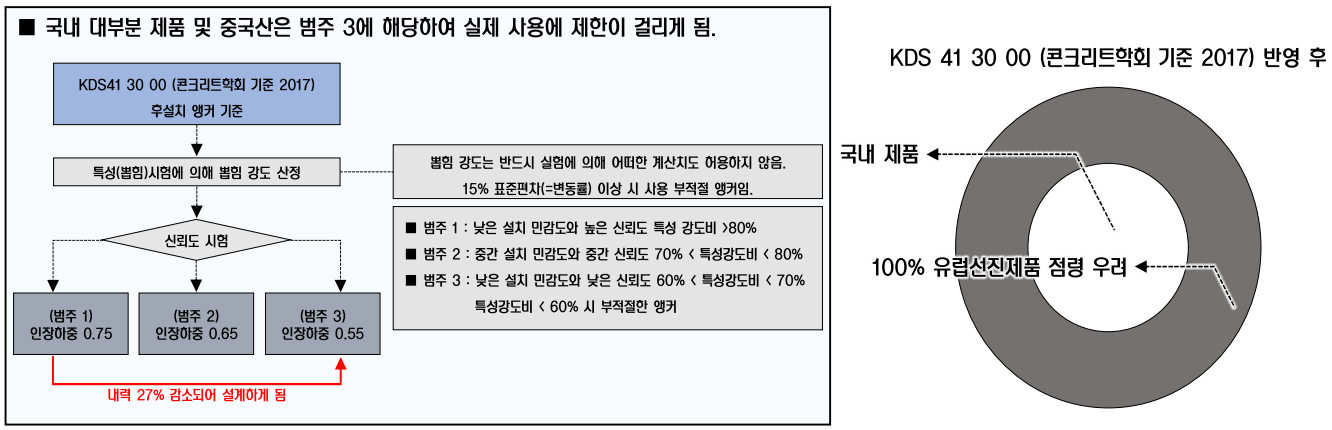
(3) 연구의 필요성

○ 후설치 앵커는 사용 시 성능을 보장하기보다는 후설치 앵커 제조사에서 제공하는 시험 성적서만을 기준으로 설치하고 있음. 또한, 국내에는 후설치 앵커의 성능을 시험하는 국내표준(KS)이 부족하여 앵커 제조사에서 제시하는 평균인발강도 및 평균전단강도 값을 이용하여 설계에 사용하고 있음. 이는 국내 설계기준이 적용되지 않고 있는 대표적인 사례임.

○ 후설치 앵커의 사용이 점진적으로 증가하면서 국내에도 후설치 앵커에 대한 설계기준이 도입되었음. 후설치 앵커의 설계기준은 한국콘크리트학회에서 제정한 콘크리트구조기준(2007) 부록에 도입되었으며, 2017년부터 현재까지 개정된 콘크리트구조기준 본문에 반영되어 있음. 또한, 2007년에 한국콘크리트학회에서 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'을 발간하여 해외기준을 기초로 후설치 앵커의 성능검증을 위한 실험방법에 대해 기술하고 있음.

○ 현재, 개정된 콘크리트학회 기준을 보면 후설치 앵커의 기준이 명시되어 있고 시험법을 따르도록 되어 있으며, 이는 비균열 콘크리트와 균열 콘크리트로 구분하여 적용하도록 되어 있음. 특히, 내진성능을 만족해야 하는 부분은 균열 콘크리트의 성능시험법을 따라야 함.

■ KDS41 30 00 (콘크리트학회 기준 2017)에 의하면 특성시험, 신뢰도 시험, DB가 없는 국내제조 앵커를 국내 현장에 적용은 불가능함.
■ 국내 중소기업에서 수행하기에는 대규모 글로벌 그룹의 외산 앵커와의 경쟁력이 부족함.
→ "기술개발사업"을 통해 국내기준에 부합한 앵커의 신뢰성을 확보하는 것이 반드시 필요함.



[그림 2.1.12] 국내 후설치 앵커의 성능시험 (콘크리트학회기준 2017)

○ 일부 유럽산 제품은 해당 DB를 가지고 있으나, 유럽 현지에서만 그 DB를 가지고 있을 뿐 국내에서 균열 콘크리트에 대한 앵커실험은 이루어지지 않고 있음.

균열보수성능을 확보한 콘크리트용 후설치 앵커 개발 과제 개요

○ 최근 건설현장에서는 후설치 앵커의 탈락으로 인한 다수의 사고가 발생하여 많은 인명 및 재산피해를 야기하고 있음. 특히 후설치 앵커는 구조체에 구조재 및 비구조재를 연결시키는 중요한 건설재료임에도 국내 건설시장에 관련 기준이 제정되지 않아 시급한 개선이 필요함.

○ 경주지진(2016) 및 포항지진(2017)으로 인하여 국내에 내진보강공사가 급격히 증가하고 있으며, 대부분의 내진보강공사는 기존 구조물과 보강체 사이에 후설치 앵커를 이용한 일체화가 진행되고 있으나 이에 대한 성능검토는 미흡한 실정임.

○ 후설치 앵커가 가져야 할 성능 중, 중요한 사항은 균열 콘크리트에서의 성능임. 미국기준(American Concrete Institute, ACI) 및 유럽기준(European Organisation for Technical Approvals, EOTA)에는 균열 콘크리트 하에서 비균열 콘크리트에서의 앵커 성능이 일정 비율 이상을 확보하여야 하며 이에 따른 시험기준이 제시되어 있으나 우리나라의 경우 이에 대한 기준이 부족함.

○ 본 연구에서는 후설치 앵커의 상세를 개선하여 콘크리트에 일정 수준의 균열(0.3㎜)이 발생하여도 앵커의 형상개선, 에폭시 등을 추가 주입할 수 있는 상세를 개발하여 비균열 콘크리트에서의 50% 이상의 성능을 발현하는 균열보수성능을 가진 콘크리트용 후설치 앵커의 개발을 목표로 함.

○ 현재, 국내에는 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 성능검증에 대한 기준이나 실험시스템이 미흡함. 본 연구를 통해 비균열 및 균열 콘크리트에서의 DB를 확보할 수 있는 균열시스템을 구축하여 균열 콘크리트하에서도 앵커의 성능검증실험을 수행할 수 있도록 함.



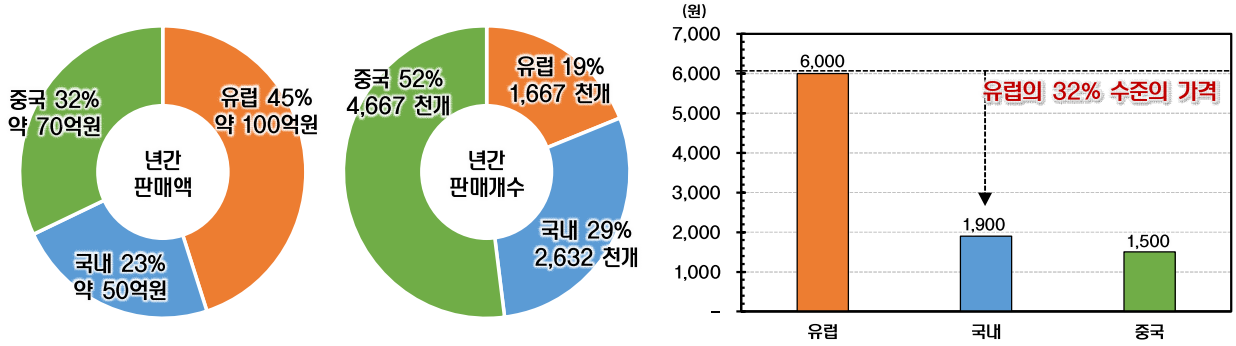
[그림 2.1.13] 국내 후설치 앵커의 피해사례

2.2 연구개발 대상의 국내외 시장현황

○ 국내 앵커 관련 건설시장 규모 중, 시방에 의해 관리되고 있는 시장 규모는 약 220억이고 비구조재 연결 및 소형 구조물에 사용되고 있는 시장은 약 500억 규모로 추산되고 있음. 시방에 의해 관리되는 시장은 앵커의 신뢰성이나 변동계수를 만족해야 하는 성능입증이 수행되어야 하므로 부가가치가 높아 대부분 유럽산 제품이 사용되고 있음. 또한, 신뢰도가 낮은 제품은 중국산이 저가를 무기로 하여 국내외 시장을 잠식하고 있음.

○ 시장의 구성은 국내산 앵커가 약 23% 정도를 점유하고 있는 반면, 유럽산 제품(유럽에서 기술력을 제공하고 제품은 중국 및 동남아 등지에서 생산)은 기술력을 바탕으로 약 45%의 점유율을 보이고 있음. 나머지는 가격 경쟁력을 내세우고 있는 중국산 제품으로 약 32%를 점유하고 있음.

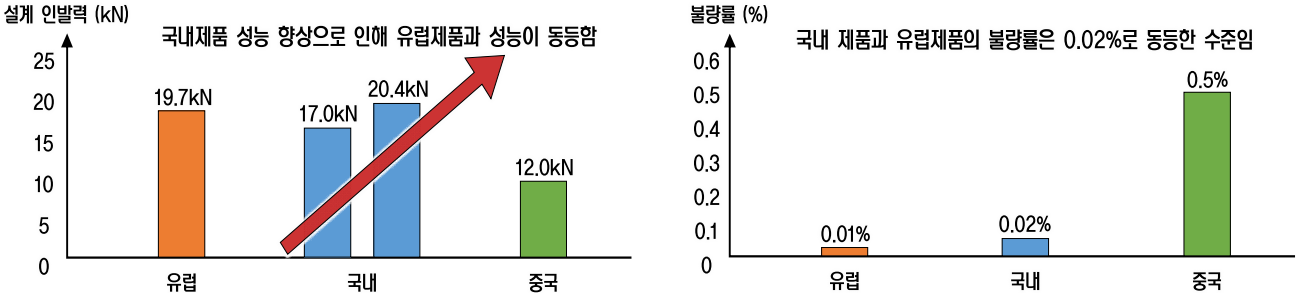
○ 국내산 앵커는 선진제품과 비교하면 제품의 성능이 낮으며, 중국제품에 비해서는 고가로써 제품 성능 및 가격 경쟁력 등 모든 측면에서 불리한 위치에 있음. 또한, 국내 콘크리트용 앵커는 유럽제품 가격의 32% 수준, 중국제품에 비해 약 1.2배 고가로 선진기술과 저가시장 사이에 있음.



[그림 2.2.1] 국내 앵커 판매가격 및 점유율

○ 특히, 앵커시장의 현황을 분석해보면 [그림 2.2.1]과 같이 판매개수는 중국제품이 약 52%를 차지하지만, 매출액은 유럽제품이 약 45%로 높은 기술력을 기반으로 경제적 성과를 올리고 있음. 국내의 시장 현실은 이미 높은 인건비를 바탕으로 저가의 중국제품과 경쟁할 수 없는 실정임. 또한, 해외 건설시장의 점유율을 볼 때 적절한 기술을 바탕으로 한 후설치 앵커 기술을 개발하면 선진국과 충분히 경쟁할 수 있는 가격조건을 확보할 수 있음.

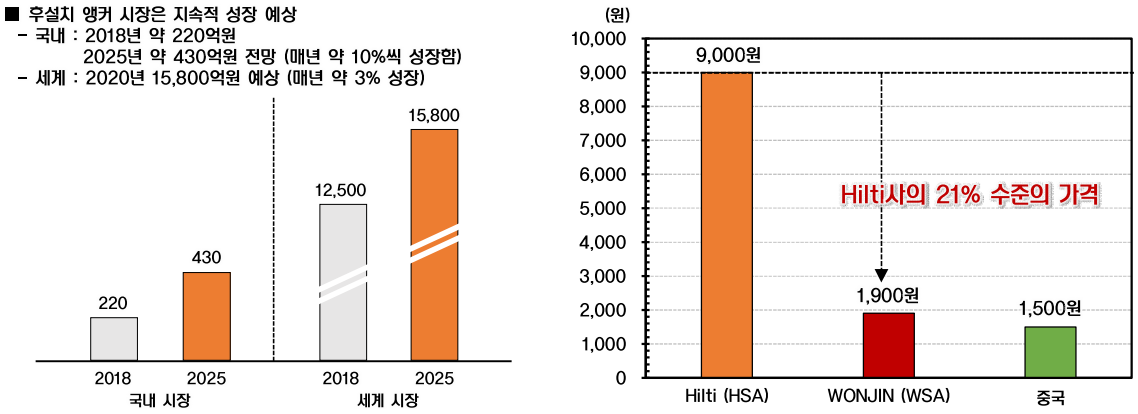
○ 중국제품의 경우, 국내제품 대비 설계인발력이 약 40% 낮을 뿐만 아니라 불량률이 높아 콘크리트에 매립된 앵커의 탈락 등에 의한 사고가 빈번히 발생하고 있음. 국내제품의 경우, 유럽산 제품 대비 인발성능은 약 20% 정도 부족하지만 불량률은 유럽제품과 동등 이상의 성능을 가지고 있어 비균열 콘크리트 시장에서는 충분한 경쟁력을 가지고 있음.



[그림 2.2.2] 제품별 설계 인발성능 및 불량률 현황(M12 기준)

<표 2.2.1> 국내외 주요시장 현황

구분	제품명	설계인발력(앵커직경)	판매가격(원)	연매출액(천원)	비고
국내	WSA	17.0kN(M12)	350	5,000,000	-
		25.8kN(M16)	680		
		35.1kN(M20)	1,900		
국외	Hilti사 / 리히텐슈타인	17.6kN(M12)	2,400	10,000,000	성능품질 우수
		24.1kN(M16)	3,900		
		33.7kN(M20)	9,000		
	Fischer사 / 독일	17.7kN(M12)	720	5,000,000	
		29.0kN(M16)	1,500		
		37.0kN(M20)	4,500		
	중국 OEM	13.2kN(M12)	280	7,000,000	저가
		21.7kN(M16)	500		
		26.5kN(M20)	1500		



[그림 2.2.3] 국내외 후설치 앵커 가격(시장 규모)

○ 현재, 국내의 상황을 살펴보면 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 성능 및 기술 수준은 미미한 수준임. 관련 산업에서의 필요성은 충분히 공감하나 해당 기술을 보유한 업체는 전무한 실정임. 유럽국가에서는 후설치 앵커를 설치한 콘크리트에서 균열이 발생(0.3㎜)하면 비균열 콘크리트(정상상황)에서의 인발성능의 약 50%의 성능 수준을 요구하고 있음.

○ 국내에서도 균열 콘크리트에서의 앵커 개발을 시도하였지만, 개발한 앵커의 성능검증에 대한 노하우가 부족함, 선진 유럽제품에서는 실험과정 자체를 블랙박스로 처리하여 공개하고 있지 않으며, 외부에서 시험을 발주한 주체에게도 실험결과만을 제시할 뿐 실험과정은 공개하고 있지 않아 균열 콘크리트에서의 앵커 개발이 어려운 실정임.

○ 본 연구에 공동기관으로 참여하고 있는 ㈜원진은 유럽의 콘크리트 실험기관을 방문하여 균열 앵커에 대한 개략적인 내용을 견학하였음. 또한, 해외 프로젝트를 수행하며 균열 앵커의 시편을 확보하였고, 이에 대한 유한요소해석을 수행한 경험이 있으며 이를 기초로 연구를 시작하였음.

2.3 연구개발 계획 및 목표

2.3.1 기존 후설치 앵커 고찰

○ 본 연구에서는 후설치 앵커 중 비틀림 제어 확장앵커를 대상으로 하였으며, 비틀림 제어 확장앵커는 콘크리트에 앵커를 설치한 후 비틀림력에 의해 슬리브가 앵커 몸체를 따라 확장되어 콘크리트에 마찰력과 걸림력을 작용시키는 앵커임.

○ 본 연구를 수행하기 앞서 기존 비틀림 제어 확장앵커의 정착성능에 대한 분석을 수행하였음. 기존에 사용하고 있는 비틀림 제어 확장앵커는 각 직경별 앵커의 설계강도를 만족하고 있어 설계 시 사용이 가능하지만, 국내 앵커 설계기준에 명시되어 있는 허용변동계수 기준인 15%보다 조금 낮거나 유사한 변동계수 값을 나타내어 앵커 성능에 대한 신뢰성이 부족함(<표 2.1> ~ <표 2.2> 참조).

○ 후설치 앵커의 설계는 콘크리트 콘파괴 강도로 설계하는데, 이는 앵커와 재료의 성능을 모두 사용한 뒤 발생하는 이상적인 파괴모드임. 그러나 기존 비틀림 제어 확장앵커의 파괴모드는 대부분 콘크리트 콘파괴와 뽑힘파괴가 발생하고 있으며, 이는 앵커 내부의 슬리브가 충분히 확장하지 못하여 발생하는 파괴모드임.

<표 2.3.1> 기존 후설치 앵커의 성능

Limits(%)	15	Tensile Test				
f_{ck}(MPa)		21				
Diameter(㎜)		M8	M10	M12	M16	M20
Average(kN)		8.8	19.9	26.2	37.0	57.5
Standard Deviation		0.9	2.3	3.6	5.1	6.3
Coefficient of variation(%)		10.7	11.6	14.0	13.7	11.0



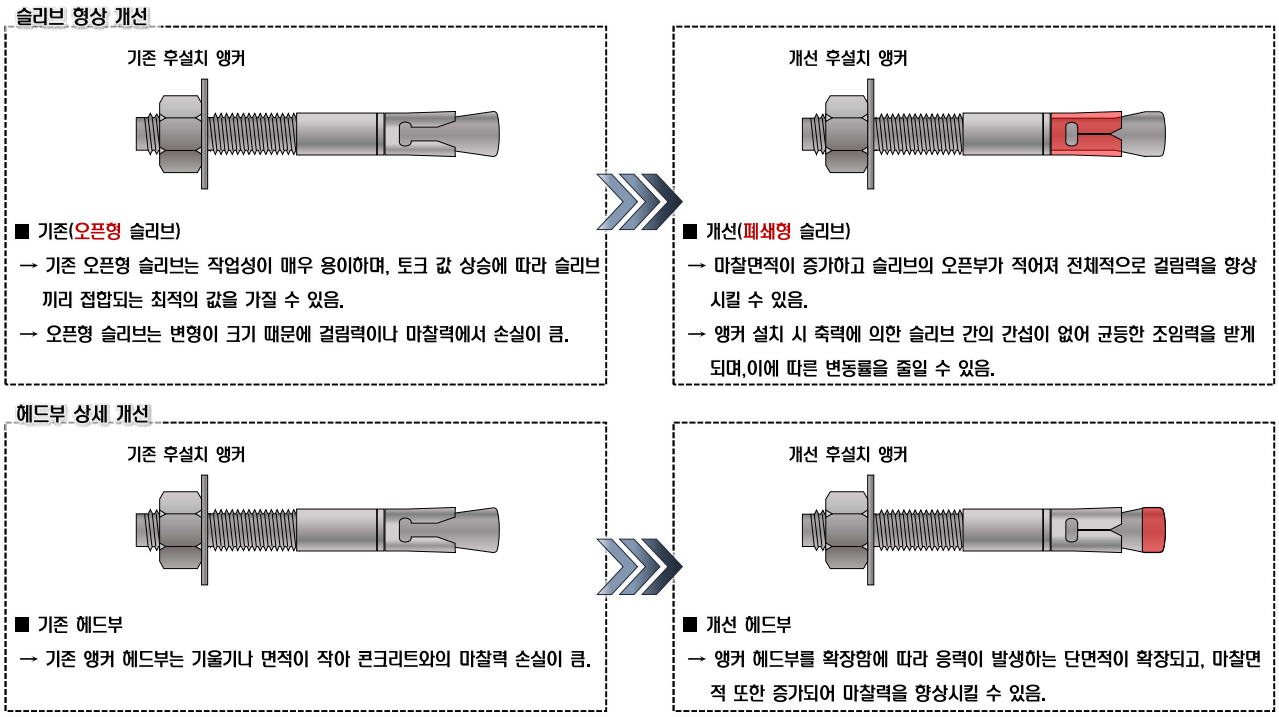
[그림 2.3.1] 기존 후설치 앵커의 형상 및 파괴형상

○ 기존 비틀림 제어 확장앵커의 경우 확장슬리브의 날개 너비가 작으며 헤드부의 끝부분은 뭉툭하게 하여 확장슬리브가 비틀림력에 의해 충분히 확장될 수 있도록 하였음. 하지만, 기존 앵커의 파괴형상을 확인해보면 비틀림 작용 시 확장슬리브의 날개 너비가 작아 날개부에 변형이 크게 생겨 슬리브가 올곧게 확장되지 않았고, 헤드부의 뭉툭한 끝부분을 따라 슬리브가 밀려 들어가면서 콘크리트 면에 작용하는 걸림력과 마찰력을 확보하지 못하고 있음.

○ 이에 본 연구에서는 비틀림 제어 확장앵커의 성능을 결정하는 확장슬리브 및 헤드부의 상세를 개선하여 앵커의 성능을 향상시키고, 신뢰성 높고 안전한 변동계수 값을 확보할 수 있도록 계획하였음.

2.3.2 정착성능이 향상된 후설치 앵커

○ 본 연구에서는 후설치 앵커 중 비틀림 제어 확장앵커를 대상으로 하여, 기존 및 선진제품 대비 부족한 비균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 정착성능을 향상시키고자 함. 기존 후설치 앵커의 확장슬리브 및 헤드부의 상세를 개선시켜 후설치 앵커의 하중전달 메커니즘인 걸림력(슬리브 형상 개선) 및 마찰력(헤드부 상세 개선) 향상을 목표로 정착성능을 향상시키고자 함.



[그림 2.3.2] 앵커의 성능을 향상시키기 위한 슬리브 및 헤드 상세 개선안

○ 비틀림 제어 확장앵커의 성능을 향상시키기 위하여 확장슬리브 및 헤드부 상세를 개선하고자 함. 이에 대하여 유한요소해석을 수행하였음. 기존 후설치 앵커의 슬리브는 [그림 2.3.2]과 같이 앵커 설치 시 헤드와의 작업성을 고려하여 오픈형으로 구성되어 있음. 또한, 비숙련공도 작업이 용이하도록 슬리브가 접혀 들어가는 것을 시공자가 느낄 수 있고 토크 값이 상승하면 슬리브끼리 접합되며 최적의 값을 가질 수 있도록 고안되어 있음. 하지만, 이는 슬리브의 변형이 커져 걸림력이나 마찰력에서 손실이 발생할 수 있음.

○ 기존 비틀림 제어 확장앵커는 슬리브가 오픈형으로 되어 있어 앵커를 설치하고 토크를 가력할 시 설치 및 가력방향에 의해 슬리브의 변형이 발생하여 걸림력이나 마찰력에서 손실이 발생함. 이를 개선하기 위해 기존의 오픈형에서 폐쇄형(일자형)으로 슬리브 형상을 개선하고 헤드부 길이를 확장하여 마찰력을 향상시키고자 함. 이는 콘크리트와 앵커 슬리브간의 마찰면적을 증가시키고, 슬리브의 오픈부가 적어져 전체적인 걸림력 향상 효과를 가져올 수 있음. 또한, 헤드부의 길이가 확장되어 기존 슬리브의 지지력보다 더 높은 지지력을 확보할 수 있음.

○ 기존 비틀림 제어 확장앵커의 경우, 앵커가 설치되고 슬리브에 축력이 가해지면 오픈형 슬리브간의 간격이 커서 인접한 슬리브의 날개 간 간섭과 토크 가력에 의해 변동계수가 커질 수 있음. 하지만, 슬리브 형상을 개선하면 앵커 설치에 따른 축력과 토크 가력에 의한 슬리브 간의 간섭이 없어져 모든 슬리브가 균등한 지지력 및 조임력을 받게 되며, 이에 따라 변동계수의 변화폭을 줄일 수 있음.

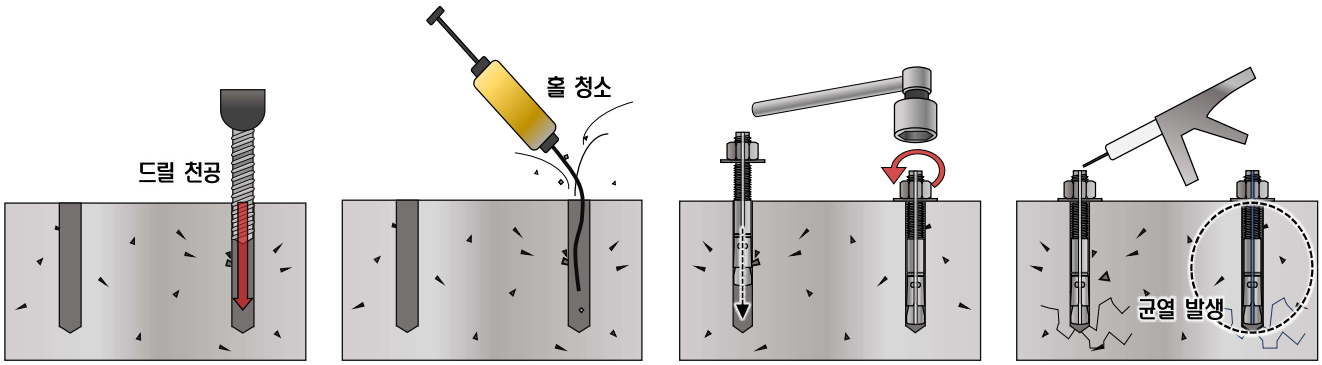
○ 슬리브 및 헤드상세를 개선하기 위하여 유한요소해석을 통해 최적의 형상을 선정하고자 함. [그림 2.3.2]에서 제시한 비틀림 제어 확장앵커의 구성 요소를 변수로 하여 다양한 유한요소해석을 수행하고

인발성능에 대한 시뮬레이션을 수행하고자 함. 이를 통해 기존 앵커보다 정착성능이 개선된 앵커상세를 제시할 예정이며, 슬리브를 개선함에 따라 앵커의 시공성이 저하될 수 있으므로 이에 대한 검토까지 진행하여 기존 앵커와 개선 앵커의 성능을 비교·분석하고 KCI 2012에 제시된 성능검토를 수행할 예정임.

2.3.3 균열보수성능을 가진 후설치 앵커

○ 본 연구에서는 기존에 후설치 앵커에 없었던 균열보수성능을 부여하고자 함. 콘크리트에 발생한 균열은 후설치 앵커 설치를 위해 천공한 홀의 크기를 확장시켜 인발성능을 저하시킴. 따라서, 균열로 인해 앵커가 파괴되는 것을 방지하기 위하여 앵커 중앙부에 [그림 2.3.3]과 같이 앵커 몸체에 홀을 뚫어 유사시 에폭시를 주입할 수 있는 균열보수방안에 대한 기술을 연구하고자 함.

○ 에폭시 주입을 위해서는 앵커 설치 당시에 천공한 홀에 청결도를 유지해야 하는 문제점이 있음. 본 연구에서 개발하고자 하는 바는 기존에 설치된 앵커를 대상으로 하는 것이 아닌 새로 설치하는 앵커에 대하여 추후 균열이 발생하고 앵커의 성능을 잃어버릴 때를 대비하여 성능을 개선하고자 하는 것임. 따라서, 기존의 국내 · 외 문헌 및 자료조사와 기술을 분석하여 균열보수성능을 가진 후설치 앵커의 다양한 아이디어를 제시하고자 함.



[그림 2.3.3] 균열보수성능을 부여하기 위한 에폭시 주입관 설치

○ 해당 부분을 응용하면 지진하중에 강한 앵커의 개발도 가능할 것으로 판단됨. 지진하중의 경우, 반복하중이 작용하여 대변형에 의한 콘크리트의 크러싱 파괴를 유도하게 됨. 이때 파괴를 방지하기 위해서는 앵커 설치를 위해 천공된 홀에 의한 대변형이 일어나는 것을 방지해야 함. 따라서, 균열보수용 후설치 앵커에서는 이러한 성능을 만족시킬 수 있을 것으로 기대됨.

2.3.4 정착성능이 향상된 후설치 앵커의 검증방안 제시(비균열 콘크리트)

○ 확장슬리브 및 헤드부가 개선된 비틀림 제어 확장앵커를 개발하고 이에 대한 성능검증실험을 수행하여 각 직경별 앵커의 DB를 구축하고자 함. 또한, 앵커 강재 재료실험을 통해 최적 치수 및 천공비트의 크기를 제시하는 특성시험을 수행하였고, 이를 통해 콘크리트 콘파괴를 유도할 수 있는 유효계수를 결정함.

○ 기준시험 및 신뢰성시험, 사용조건시험을 통해 각 직경별 앵커의 성능을 DB로 확보하고자 함. 또한, 성능이 추가로 개선될 여지가 있는 factor 값을 도출하여 개선 가능성이 있는 부분에 대해 개선을 수행하였음. 전체 시험에 대한 변동계수는 15%를 넘지 않도록 관리하였고, 가장 많이 사용되고 있는 M10, M12, M16 앵커에 대한 DB를 구축함.

○ 해당 실험은 국내 한국콘크리트학회에서 발간한 ‘콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집’에 제시된 시험

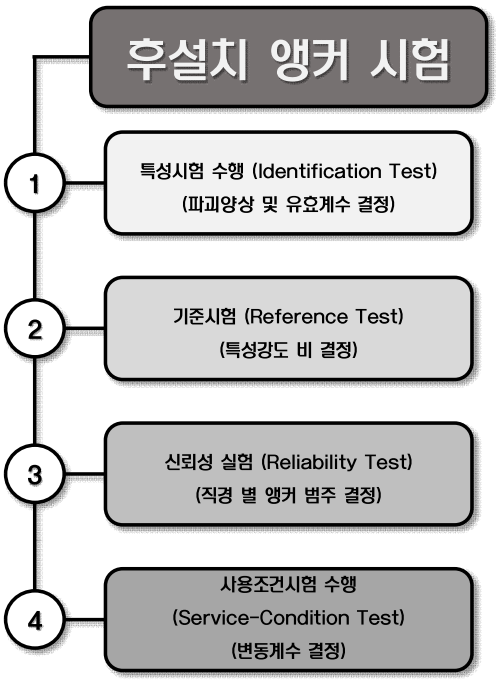
기준을 따라 성능평가실험을 수행할 예정임.

2.3.5 정착성능이 향상된 후설치 앵커의 검증방안 제시(균열 콘크리트)

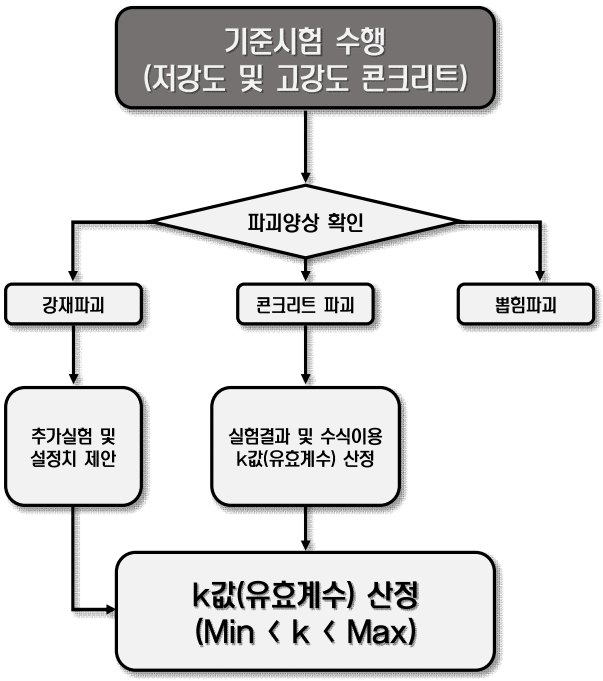
○ 확장슬리브 및 헤드부가 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 비균열 콘크리트 DB를 활용하여, 균열 콘크리트까지의 연구범위를 확대하고자 함. 본 연구진은 해당분야의 연구를 수행하기 위하여 독일의 시험기관인 MPA에 시험기관을 방문하여 개략적인 실험 노하우에 대한 지식을 습득하였음. 특히, 균열 콘크리트를 제작하기 위한 노하우를 습득하고 해당 시스템을 구축하고자 함.

○ 비균열 콘크리트에서 수행할 후설치 앵커의 성능평가실험과 동일한 방법으로 균열 콘크리트에서 성능검증실험을 수행할 예정임. 기준시험 및 신뢰성시험, 사용조건시험을 통해 각 앵커 직경별 성능을 DB로 확보하고, 앵커 설계 시 콘크리트 콘파괴를 유도할 수 있는 유효계수를 결정하고자 함.

○ 해당실험은 국내 한국콘크리트학회에서 발간한 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'을 따라 성능검증실험을 수행하고 이를 DB화할 예정임. 또한, KCL 등의 전문기관 입회하에 공인성적서를 발행하여 본 연구의 실험결과의 신뢰성을 확보하고자 함.



[그림 2.3.4] 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 성능검증실험



[그림 2.3.5] 비균열 및 균열 콘크리트에서의 특성시험

○ 본 연구에서 수행되는 기준시험을 통해 개발된 앵커의 파괴양상 및 뽑힘파괴나 강재파괴는 지양하고 콘크리트 콘파괴를 유도함. 이를 통해 유효계수를 산정하여 설계에 반영하고, 본 앵커의 설계프로그램을 제작하여 설계매뉴얼을 제시함.

2.3.6 후설치 앵커 균열보수성능 평가를 위한 균열 콘크리트 제작

○ 일반적으로 비균열 콘크리트에서의 앵커 성능실험을 위해서는 900㎜×900㎜×150㎜의 시편을 제작하여 1개의 앵커에 대한 실험을 수행하나, 균열 콘크리트에 대한 앵커 실험은 콘크리트 모재에 균열을 발생시켜야 하고 실험 도중 균열폭을 일정하게 유지시켜야 하기 때문에 1,800㎜×900㎜×150㎜ 이상의 모재를 제작하여 실험을 수행하는 경우가 다수임. 특히 1개 이상의 균열 콘크리트에 대한 실험을 진행하는 경우,

앵커 간 상호 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 선행연구를 수행한 후에 본 연구를 진행할 예정임.

○ 콘크리트 모재를 제작하고 균열을 유발시키기 위해서는 이를 일정하게 유지하기 위한 가력장비가 필요함. 본 연구진은 연구가 종료된 이후에도 실무에서 사용되는 앵커의 성능실험을 지속적으로 수행할 예정임. 또한, 우리나라에 균열 콘크리트에 대한 후설치 앵커의 성능실험이 가능한 곳이 없는 것을 고려하여 균열시스템을 지속적으로 운영할 예정임.

2.3.7 미국 ACI 및 유럽 EOTA 기준에 적합한 실험 실시

○ 우리나라 KDS 14 20 00에는 비균열 및 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커에 대한 설계기준이 제시되어 있으나, 균열 콘크리트의 경우 이를 시험하는 방법을 제시하거나 인증을 받는 방안이 부족함. 추후 해당기관에서 인증을 받을 수 있도록 해당기관에서 제시하는 시험방법을 인용하여 실험을 진행할 예정임. 이를 위하여 ACI(American Concrete Institute) 및 EOTA(European Organisation for Technical Approvals)에서 제시한 실험기준 만족을 목표로 연구를 진행하였음.

2.3.8 선행특허분석

○ 앵커 성능에 관한 특허는 미국이나 일본에 다수의 특허가 존재함. 또한, 우리나라 및 해외의 지식재산권에 대한 후설치 앵커에 대한 특허를 조사해본 결과 국내외에 총 46건의 특허가 검색되었음.

○ 국내 후설치 앵커의 특허는 확장슬리브에 대한 디자인 특허에 집중되어 있으며, 기술적인 내용에 대한 특허는 미국이나 일본에 집중되어 있음. 하지만 본 연구에서 제안한 기술과 유사한 내용은 없으며, 이에 연구를 진행하여도 무방할 것으로 판단됨. 연구에 대한 지원이 수행되면 지식재산권 확보를 위한 작업을 선행하였음.

○ 성능개선을 위하여 제시한 후설치 앵커의 확장슬리브 및 헤드 형상 개선 등을 이용하여 기술특허를 받기 위해서는 기존 특허에 대한 권리분석을 수행하고, 본 연구를 통해서 확보한 객관적 근거를 기초로 지식재산권 확보를 위한 노력을 수행해야 할 것으로 판단됨.

2.3.9 기술(또는 제품) 개발 시 예상효과 및 활용방안

(1) 기술 개발 시 예상효과

○ 본 연구를 통하여 균열보수성능을 가진 콘크리트용 후설치 앵커를 개발하게 되면 국산제품의 매출이 약 2.5배 증가할 것으로 예상됨. 특히 인발 및 전단 성능 등에서는 선진제품과 동등한 수준의 기술력을 확보하게 되고, 가격 경쟁력은 중국제품에 비하여 상당 수준 유지할 수 있으므로 개발된 제품의 매출이 신장될 것으로 기대됨.

○ 공사비 절감을 위해 유럽제품의 경우 동등 이상의 성능을 가진 국내제품으로 교체될 것으로 예상되며, 시공 안정성 및 신뢰성 회복을 위해 중국제품이 고품질·고사양의 국내제품으로 교체될 것으로 예상됨. 특히 유럽제품과 비교해 국내제품의 경우, 설계인발력이 다소 부족하지만 제품 개발 후에는 약 20% 이상의 성능이 개선된 앵커로 유럽제품과 동등 이상의 성능을 갖출 것으로 예상함.

○ 현재 보유하고 있는 앵커 성능에 관한 DB는 비균열 콘크리트에 대한 DB만을 가지고 있으나, 본 연구를 통하여 균열 콘크리트에 대한 DB를 확보하게 되면 해당 제품에 대한 수출실적도 늘어나게 될 것으로

판단됨. 공동연구기관인 ㈜원진에서는 기존 제품을 가지고 베트남이나 중국시장에 진출해 있는 상태로 추후 개선된 성능의 비균열 및 균열 콘크리트에 대한 후설치 앵커 성능 DB를 확보하게 되면 커다란 자산을 갖는 것과 동일한 효과를 나타낼 수 있음.

(2) 기술 개발 시 활용방안

○ 활용범위의 확대

- 다양한 구조물에 활용이 가능한 고성능 건설자재 및 소재의 생산성 향상과 적용기술 개발 활용
- 본 연구개발 단계에서 실시되는 실험데이터 구축을 통해 해외기준 검증 및 국내 기술에 부합한 콘크리트 앵커 설계법 제안의 기초원천 자료로써 활용 가능
- 초고층 커튼월, 석재, 외장 패널, 설비 및 휀스 등 다양한 건설 기반 시설에 적용 가능하며, 인명과 직접적 관계가 있는 엘리베이터 레일 고정, 도로공사 및 교각 구조물 등의 시설물에도 활용 가능

○ 국내 상황을 고려한 콘크리트 앵커 설계법의 기준으로 활용

- 본 연구를 통해 개발된 앵커 시스템의 이론 및 실험적 데이터를 확보하고, 이를 활용하여 콘크리트용 앵커 시스템 설계에 적용 가능하며 기존 설계식과의 적합성 평가 및 구조물 안전성 검토에 활용 가능
- 엘리베이터, 덕트, 커튼월, 마감재 및 구조물, 가로등, 표지판, 내진보강, 터널 대피소 등 건축 및 토목 산업 전반에 걸친 활용 및 확대적용 가능



[그림 2.3.6] 기술개발에 따른 콘크리트용 후설치 앵커 활용방안

2.4 연구개발의 목표 및 내용

2.4.1 연구개발의 목표 및 내용

(1) 연구개발의 최종 목표 및 최종성과물

구분	내용 및 설정근거
최종목표	- 후설치 앵커의 형상을 개선하여 균열 상황(0.3㎜)에 대해서도 비균열 상황(정상 상황)의 약 50% 이상 성능을 발현하는 콘크리트용 후설치 앵커 개발 - 균열보수성능을 가진 후설치 앵커의 성능평가실험을 위한 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템 구축
세부목표	- 기존 후설치 앵커의 인발 및 전단 성능을 개선한 후설치 앵커 개발 및 성능검토 - 균열 상황에서 균열보수용 에폭시 주입가능 앵커 개발 및 성능검토 - 후설치 앵커의 균열보수성능을 평가하기 위한 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템 개발 - 균열 상황(균열폭 0.3㎜이내)하에서 균열 전 상황의 50% 이상 성능 발현

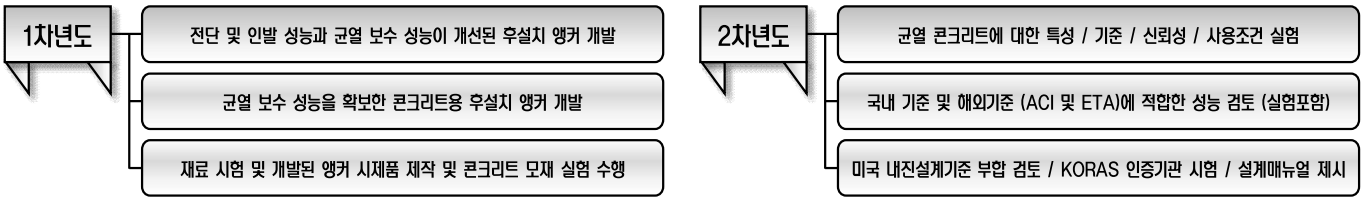
(2) 최종성과물의 기술성숙도 설정근거

구분		연구착수	연구종료	단계별 설명
기초연구 단계	TRL 1	☐	☐	TRL 1 이론적 연구단계
	TRL 2	☑	☐	TRL 2 기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	☐	TRL 3 실험적 증명 단계
	TRL 4	☐	☐	TRL 4 실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☐	☑	TRL 5 유사환경 시험 단계
	TRL 6	☐	☐	TRL 6 유사환경 기술시범 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	☐	TRL 7 실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☐	☐	TRL 8 시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	☐	TRL 9 현장적용/사업화 단계

최종성과물	기술성숙도(TRL)		설정근거
	연구시작 시	연구종료 시	
균열보수성능을 가진 콘크리트용 후설치 앵커	TRL 2	TRL 5	- (연구시작 시) 균열 콘크리트에 적용 가능한 후설치 앵커는 슬립형상을 개선한 국내제품임. - (연구종료 시) 균열 콘크리트에서 보수가 가능하고 이에 대한 성능을 검토하기 위해 후설치 앵커의 성능평가 및 유사환경에서의 실험을 수행할 예정임.

(3) 연차별 연구개발 목표 및 내용

○ 본 연구를 통해 개발하고자 하는 연구목표 및 내용은 다음과 같음.



[그림 2.4.1] 연구개발 목표 및 연구내용

2.4.2 평가의 착안점 및 기준

(1) 연구개발의 최종 목표 및 최종성과물

구분	년도	세부 연구목표	세부 연구개발 내용	평가목표 및 착안점	가중치 (%)	추진일정			
						1분기 (1/4)	2분기 (2/4)	3분기 (3/4)	4분기 (4/4)
1차년도	2020	후설치 앵커 성능개선	성능개선을 위한 슬리브 상세개발	개선된 후설치 앵커의 성능	25				
			성능개선을 위한 헤드 상세개발						
		앵커규격별 (M10, 12, 16) 성능실험	기존앵커 성능실험	개선된 후설치 앵커의 성능	25				
			개선앵커 성능실험						
2차년도	2021	균열보수 성능을 갖는 앵커제작	균열보수가 가능한 앵커 시편제작	균열보수 방법 및 성능 적정성	25				
			균열보수 성능 검토						
		모재에 균열 발생 후 앵커 성능 실험시스템 개발	균열 콘크리트 실험시스템 구축	실험시스템 개발 여부	25				
			균열 콘크리트 실험						

평가 항목 (M16 기준)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계최고 수준 보유국/보유기업 (독일/HILTI)	연구개발 전 국내수준	개발 목표치		평가 방법
			성능수준	성능수준	1차년도 (2020년)	2차년도 (2021년)	
① 인발강도	kN	25	25.9	25.8	29	29	실험
② 전단강도	kN	25	26.1	26.1	30	30	실험
③ 균열보수성능	kN	25	균열보수 후 ①, ② 성능의 50%	균열보수 후 ①, ② 성능의 60%	균열보수방법 개발	균열보수 후 ①, ② 성능의 60%	실험
④ 균열성능검토	kN	25	균열모재 실험방법	-	모재에 원하는 크기의 균열발생	균열 콘크리트의 후설치 앵커실험	실험

구분	년도	성과목표	세계최고수준 (보유국/ 보유기관)	연구 전 국내수준 (M12 기준)	목표치	가중치 (%)	평가기준	달성치 (%)
최종목표	2021	앵커 성능개선	독일/HILTI	(인발/전단) 25.8/26.1kN	(인발/전단) 29/30kN	50	실험으로 달성여부 확인	100
		보수성능을 갖는 앵커 성능실험	독일/HILTI	(인발/전단) 18.1/18.3kN	보수 전 50%	50	실험으로 달성여부 확인	100
1차년도	2020	전단/인발성능 개선	독일/HILTI	(인발/전단) 25.8/26.1kN	(인발/전단) 25.8/26.1kN	25	실험으로 달성여부 확인	100
		슬리브/헤드 개선	독일/HILTI	-	시제품 제작	25	시제품 도출 여부	100
2차년도	2021	보수성능을 갖는 앵커 개발	독일/HILTI	(인발/전단) 18.1/18.3kN	시제품제작	25	시제품 도출 여부	100
		균열 콘크리트 실험시스템 구축	독일/HILTI	-	시스템 구축	25	시스템 구축 여부	100

<표 2.4.1> 연차별 정략적 연구성과 목표 및 달성도

구분			1차년도 (계획/달성)	2차년도 (계획/달성)	계 (계획/달성)
국외논문 게재	SCI		-	2 / 0	2 / 0
	비SCI		-	-	-
	계		-	2 / 0	2 / 0
국내논문 게재	SCI		-	-	-
	비SCI		2 / 2	2 / 2	4 / 4
	계		2 / 2	2 / 2	4 / 4
특허출원	국내		1 / 2	1 / 1	2 / 3
	국외		0 / 3	-	0 / 3
	계		1 / 5	1 / 1	2 / 5
특허등록	국내		-	1 / 2	1 / 2
	국외		-	-	-
	계		-	1 / 2	1 / 2
인력양성	석사		-	1 / 1	1 / 1
	박사		-	-	-
	계		-	1 / 1	1 / 1
기술이전	계약건수		-	0 / 1	0 / 1
	계약액		-	-	-
	징수액		-	-	-
국제 표준화	기고서 제출		-	-	-
	기고서 채택		-	-	-
	표준안 채택		-	-	-
국내 표준화	기고서 제출		-	-	-
	기고서 채택		-	-	-
	표준안 채택		-	-	-
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문		1 / 1	1 / 1	2 / 2
	연구시설·장비		-	1 / 1	1 / 1
	기술요약정보		-	1 / 1	1 / 1
	생명자원	생명정보	-	-	-
		생물자원	-	-	-
		신품종	-	-	-
	소프트웨어		-	1 / 1	1 / 1
	화학물		-	-	-
기타	시제품		-	1 / 1	1 / 1
	성과 홍보		-	1 / 1	1 / 1
	일자리 창출		-	1 / 1	1 / 1

2.5 연구개발의 추진전략·방법 및 추진체계

2.5.1 연구개발 추진전략·방법

(1) 성공적 수행을 위한 추진전략

○ 본 연구진은 다년간의 제품개발 및 생산을 통해 앵커 연구개발의 노하우를 갖추고 있으며, 앵커의 성능향상 및 국산화를 위해 노력하고 있음. 또한, 다양한 성능검증실험을 통해 제품 성능에 대한 자료를 꾸준히 축적하여 매뉴얼 개발 및 제품의 신뢰도 향상을 위한 다수의 연구인력을 확보하고 있음.

○ 주관기관의 실험시설을 적극적으로 활용하며, 최근 2축 진동대 및 250kN 용량의 액추에이터를 가동하여 피로시험 및 내진성능실험이 가능함. 또한, 연구결과를 이용하여 개발되는 앵커시스템은 지속적인 성능개선을 통해 국내뿐만 아니라 해외사업 등 수출사업 활성화를 위해 노력할 예정임.





(2) 연구기관별 역할분담

수행기관	주요 담당 업무	기술개발 비중 (%)
주관기관 (단국대학교 산학협력단)	- 비균열 및 균열 콘크리트용 후설치 앵커 실험체 제작 - 앵커 성능검증실험 (인발 및 전단시험 등) - 앵커 현장 적용성 시험 (시공정밀도, 반복하중, 지속하중 등) - 균열보수성능을 갖는 앵커 설계 및 모형 제작	70
공동연구기관 (㈜원진)	- 앵커 기본 물성시험 - 실험변수 및 예측값 선정 - ACI, CCD 및 EOTA 설계법에 따른 실험 자료 확보 - 시제품 제작	30

2.6 연구개발 추진체계

연구개발과제		총 참여 연구원
(총괄)과제명	균열보수성능을 확보한 콘크리트용 기계식 앵커 개발	주관연구책임자 (박태원)외 15명

기관별 참여현황		
구 분	연구기관수	참여연구원수
대 기 업		
중견기업		
중소기업	1	4
대 학	1	10
국공립(연)		
출 연 (연)		
기 타		

단국대학교 산학협력단
균열보수성능을 확보한 콘크리트용 후설치 앵커 개발
연구책임자명 : 박태원
담당기술개발내용
- 후설치 앵커 성능향상을 위한 슬리브 및 헤드 형상개선 및 성능검증실험 - 균열보수가 가능한 후설치 앵커 개발 및 성능검토 - 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 성능평가 시스템 구축

[공동연구기관] ㈜ 원진	[공동연구기관] ○○○○○	[위탁연구기관] ○○○○○
균열보수 성능검토를 위한 후설치 앵커 적용성 검토	-	-
(안영승) 외 4명	-	-
담당기술개발내용	-	-
후설치 앵커 성능향상을 위한 슬리브 및 헤드 형상개선	-	

2.7 추진일정

<1차년도 추진일정>

일련 번호	세부 개발내용	수행주체	세부 추진 일정 (개월)								비고
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	자료수집	주관/공동	■	■								
2	성능개선 앵커 기획	주관		■	■	■	■					
3	성능개선 앵커 제작	공동			■	■	■					
4	기본 물성실험	공동				■	■					
5	전단/인발실험	주관					■	■	■	■	■	
6	균열보수성능 후설치 앵커 설계	주관						■	■	■		
7	보수성능실험	주관							■	■	■	
8	실험결과분석 및 구조해석	주관								■	■	
9	설계용 프로그램	공동								■	■	■
10	보고서 작성	주관/공동									■	■

<2차년도 추진일정>

일련 번호	세부 개발내용	수행주체	세부 추진 일정 (개월)											비고
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	자료수집	주관/공동	■	■											
2	1차년도 연구 리뷰	주관/공동	■	■	■										
3	보수성능개선 검증	공동		■	■	■									
4	균열 콘크리트 실험시스템 기획	주관			■	■	■	■							
5	균열 실험 구축	주관				■	■	■	■						
6	균열 콘크리트 실험	주관						■	■	■					
7	설계매뉴얼 제작	공동								■	■	■			
8	성능검토 분석	주관									■	■	■		
9	앵커 시스템 정리	주관										■	■	■	
10	보고서 작성	주관/공동											■	■	■

2.8 연구개발 성과의 활용방안 및 기대효과

2.8.1 연구개발 성과의 활용방안

(1) 활용범위의 확대

○ 다양한 구조물에 활용이 가능한 고성능 건설자재 및 소재의 생산성 향상과 적용기술 개발 활용

○ 본 연구개발 단계에서 실시되는 실험데이터 구축을 통해 해외기준 검증 및 국내 기술에 부합한 콘크리트 앵커 설계법 제안의 기초원천 자료로써 활용 가능

○ 초고층 커튼월, 석재, 외장 패널, 설비 및 휀스 등 다양한 건설 기반 시설에 적용 가능하며, 인명과 직접적 관계가 있는 엘리베이터 레일 고정, 도로공사 및 교각 구조물 등의 시설물에도 활용이 가능함.

(2) 국내 상황을 고려한 콘크리트 앵커 설계법의 기준으로 활용

○ 본 앵커 시스템 개발을 통해 파악한 이론 및 실험적 데이터를 바탕으로 콘크리트용 앵커시스템 설계에 활용이 가능하며, 기존 설계식과의 적합성 평가 및 구조물 안전성 검토에 활용

○ 엘리베이터, 덕트, 커튼월, 마감재 및 구조물, 가로등, 표지판, 내진보강, 터널 대피소 등 건축 및 토목 산업 전반에 걸친 활용 및 확대적용 가능

2.8.2 기대효과

(1) 기술적 측면

○ 고성능 앵커 개발을 통한 해외기술 의존도 해소 및 세계 동등수준 기술 확보

○ 건축 및 토목 구조물 등 사회기반 시설물에 대한 내구성능 향상기술 확보

○ 균열보수가 가능한 후설치 앵커의 개발을 통한 선진기술 수준 도약

(2) 경제적 · 산업적 측면

○ 균열 후 앵커의 보수방안을 제시하여 구조체의 수명연장

○ 국내제품 해외 수출을 위한 성능평가 DB구축 및 외산자재 국산화 대체 가능

(3) 사회적 측면

○ 앵커 주위 균열로 인한 2차 사고방지를 통한 안전한 사회 구축

○ 내진보강공사에 사용되는 앵커 성능향상을 통한 내진보강사업 현실화

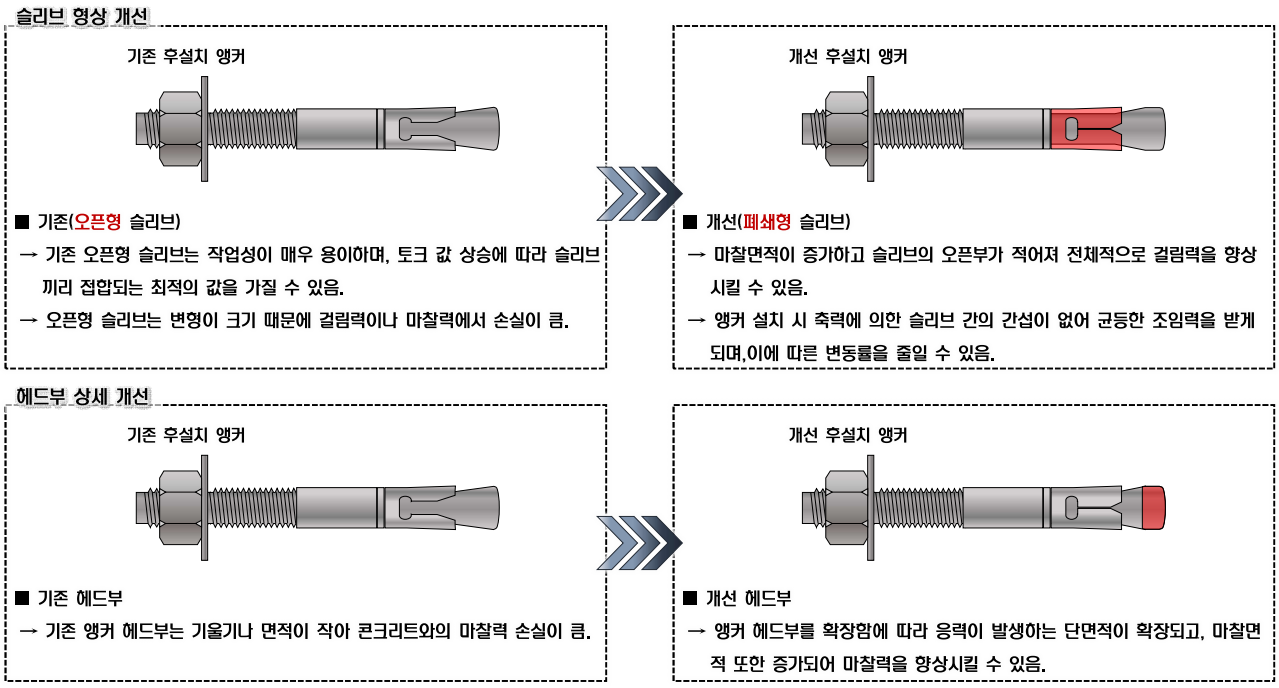
2.9 연구수행

2.9.1 기존 후설치 앵커의 인발 및 전단성능 향상

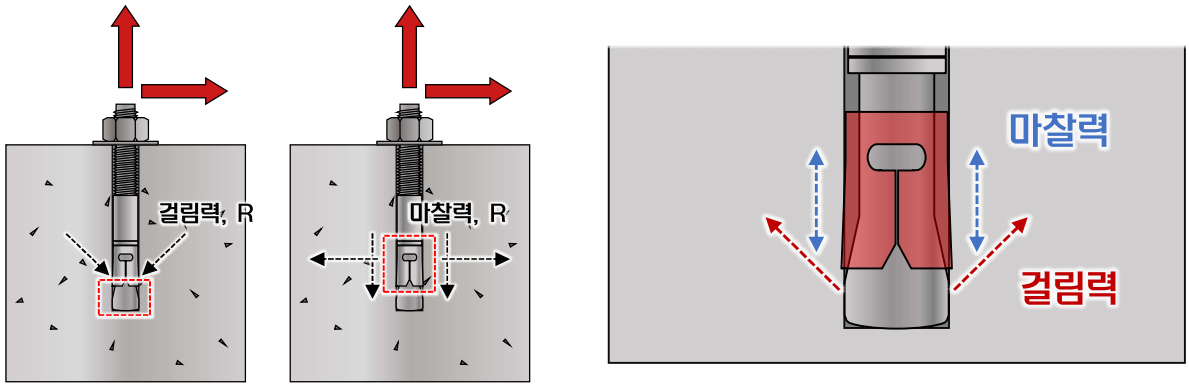
(1) 개요

○ 본 연구에서는 후설치 앵커 중 비틀림 제어 확장앵커를 대상으로 하여 기존 후설치 앵커의 인발 및 전단성능을 향상시켰음. 기존 후설치 앵커(비틀림 제어 확장앵커)의 슬리브 및 헤드부 상세를 개선하고 이에 대한 유한요소해석을 수행하여 앵커의 최적형상을 선정하였고, 성능검증실험을 통해 앵커의 인발 및 전단성능을 평가하였음.

○ 본 연구의 시험대상인 비틀림 제어 확장앵커는 앵커 설치 후 토크를 가력하면, 콘크리트 내부의 확장부(확장슬리브 및 헤드부)에서 작용하는 지지력(걸림력, 마찰력)에 의해 인발 및 전단성능이 결정됨. 토크를 가력하게 되면, 앵커의 몸체가 외부방향으로 이동하면서 확장부의 슬리브가 헤드부를 따라 콘크리트 홀 내부로 밀려 들어가면서 슬리브가 확장되고, 이때 마찰력과 걸림력이 동시에 발생하여 콘크리트에 정착됨.



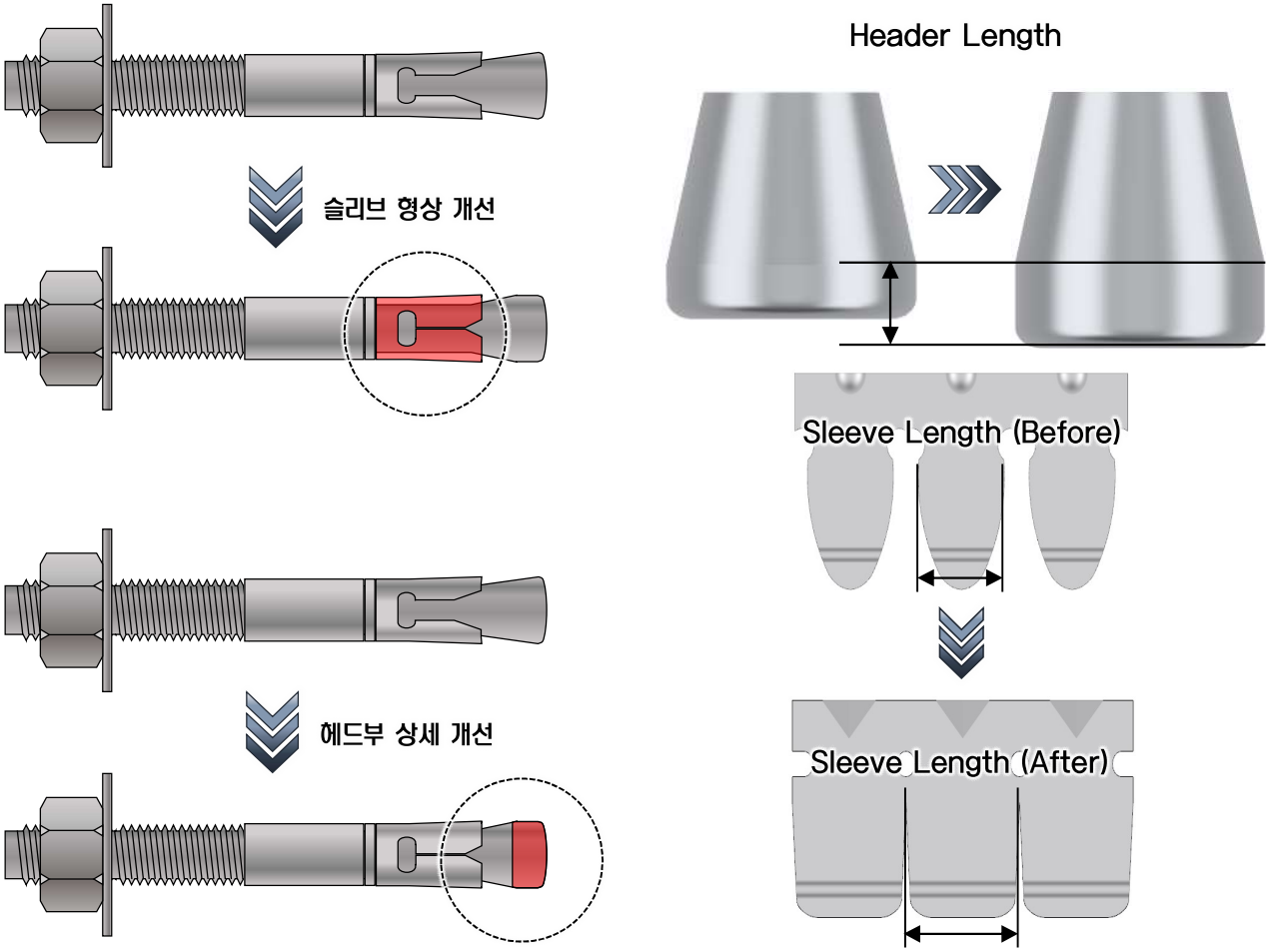
[그림 2.9.1] 정착성능이 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 개선안



[그림 2.9.2] 비틀림 제어 확장앵커의 하중메커니즘

(2) 유한요소해석을 통한 최적 형상 도출

○ 기존 비틀림 제어 확장앵커의 정착성능을 향상시키고자 앵커의 내력을 결정하는데 영향을 미치는 확장부의 확장슬리브 및 헤드부를 개선하였음. 확장슬리브 및 헤드부는 앵커의 인발력과 전단력을 결정하는데 가장 중요한 요소로 유한요소해석을 통해 다양한 변수의 해석을 수행하여 최적의 구조형상을 선정하였음([그림 2.9.3] 참조).



[그림 2.9.3] 슬리브 및 헤드부 개선을 통한 최적 형상 도출

<표 2.9.1> 최적 형상 도출을 위한 해석 변수 계획

Variable	Sleeve Length(㎜)	Header Length(㎜)
Case_1(Reference Shape)	6.4	0.94
Case_2	8.0	0.94
Case_3	9.0	0.94
Case_4	10.0	0.94
Case_5	6.4	1.5
Case_6	6.4	3.0
Case_7	6.4	4.5
Case_8(Optimum Shape)	9.0	3.0

○ <표 9.1>과 같이 기존 비틀림 제어 확장앵커의 성능을 개선하고자 6가지의 해석변수를 계획하였고, 이에 최적의 형상을 도출하였음. <표 2.9.2> ~ <표 2.9.3>은 유한요소해석을 수행하기 위한 격자(Mesh)와 재료 상세의 입력데이터를 나타내었음. 본 해석에 사용된 프로그램은 아바쿠스(ABAQUS)임.

<표 2.9.2> 유한요소해석을 위한 메시 상세

Item	Content
Mesh type	Solid Mesh
Mesher used	Curvature based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	2.0047㎜
Tolerance	0.100235㎜
Mesh quality	High
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off

<표 2.9.3> 유한요소해석을 위한 재료 상세

Item	Content
Model type	Linear Elastic Isotropic
Default failure criterion	Max von Mises Stress
Yield Strength	250MPa
Tensile Strength	400MPa
Elastic Modulus	200,000MPa
Poisson's ratio	0.26
Mass Density	7,850g/cm3
Shear Modulus	79,300MPa

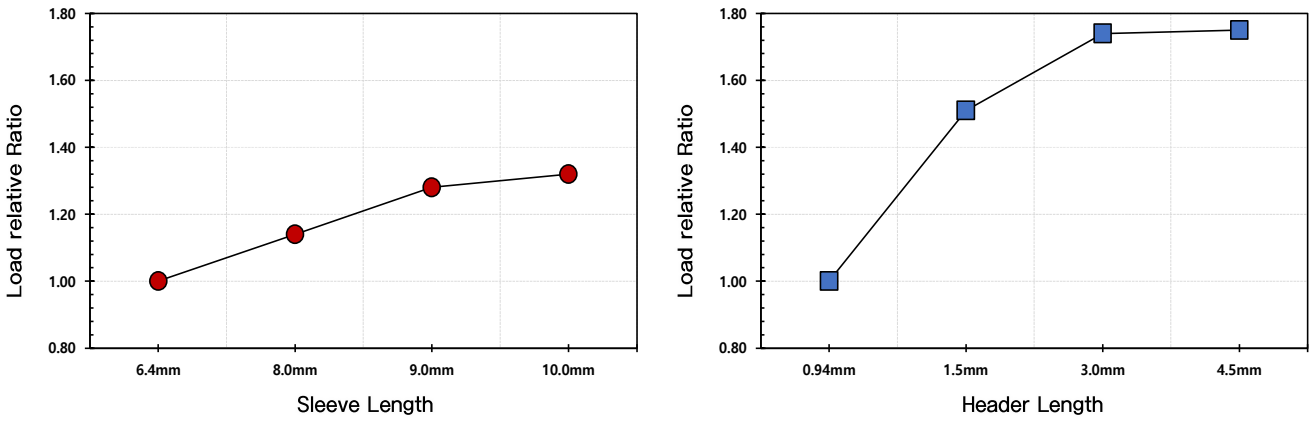
○ 기존 비틀림 제어 확장앵커의 성능을 개선하고자 확장슬리브 및 헤드상세를 변수로 하여 유한요소해석을 수행하였고, 해석결과는 다음과 같음(<표 2.9.4> 참조).

- 확장슬리브의 날개 너비가 커질수록 마찰력은 커지나, 슬리브 날개 너비가 9.0㎜ 이상이 되면 인발하중에 대한 상승폭이 급격히 감소하여 내력의 증가가 감소하였음. 따라서, 슬리브의 최적 너비는 9.0㎜로 선정하였음.
- 헤드부 길이가 3.0㎜까지는 인발내력이 선형적으로 증가하였으나, 헤드부 길이가 4.5㎜ 이상이 되면 인발하중에 대한 상승폭이 감소하여 내력이 크게 증가하지 않는 것을 알 수 있었음. 따라서, 헤드부의 최적 길이는 3.0㎜로 선정하였음.

<표 2.9.4> 유한요소해석결과 (인발하중 비교)

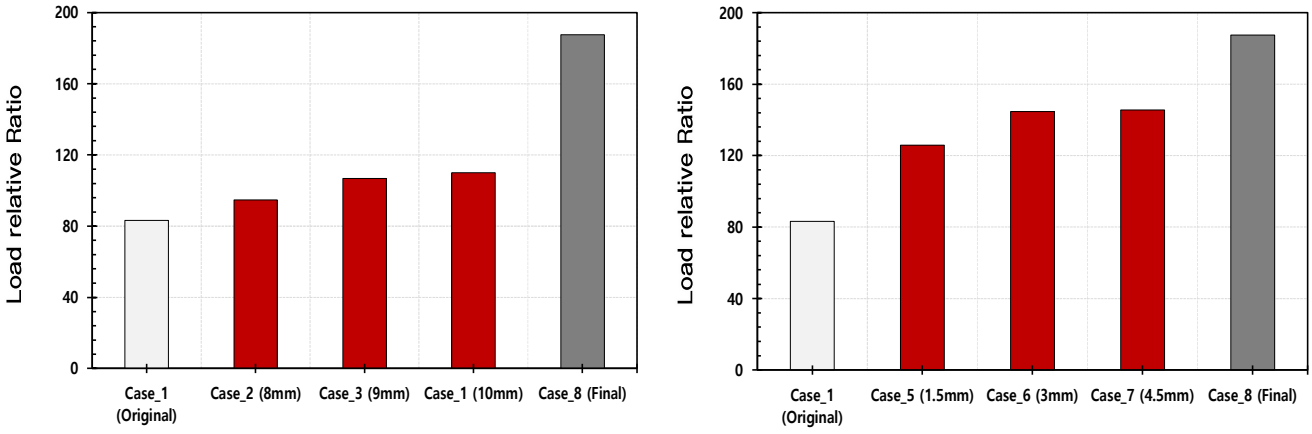
Variable	Parameter		Load(kN)	Relative Ratio(%)
Case_1	Reference Shape		83.2	1.0
Case_2	Sleeve Length	8.0㎜	94.8	1.1
Case_3		9.0㎜	106.7	1.3
Case_4		10㎜	110.2	1.3
Case_5	Header Length	1.5㎜	125.8	1.5
Case_6		3.0㎜	144.5	1.7
Case_7		4.5㎜	145.5	1.8
Case_8	Optimum Shape		187.6	2.3

○ 유한요소해석 결과는 다음과 같음. [그림 2.9.4]은 각 변수별(확장슬리브 및 헤드 길이) 앵커의 해석결과를 기본모델의 상대비로 나타낸 것이며, [그림 2.9.5]은 각 변수별 앵커의 인발하중을 나타내었음.



(a) Sleeve Length (b) Header Length

[그림 2.9.4] 각 변수별 해석결과에 대한 모델 상세비



(a) Sleeve Length (b) Header Length

[그림 2.9.5] 각 변수별 인발하중 비교

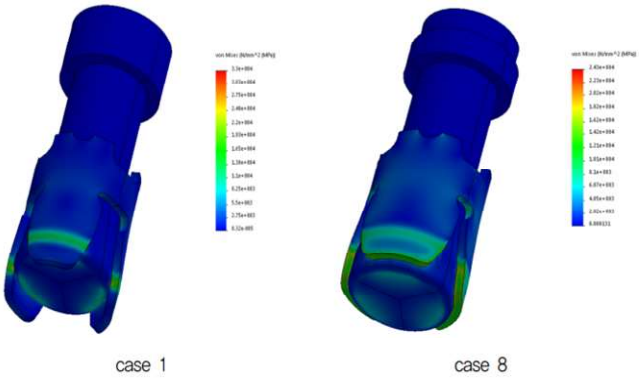
○ 기존 비틀림 제어 확장앵커의 확장슬리브를 개선한 결과, 슬리브의 너비가 확장되면 콘크리트와의 접촉 마찰면적이 커져 콘크리트에 대한 저항성능이 향상되는 것으로 나타났음. 이에 앵커에 인발력과 축력이 작용하면 슬리브 날개부의 변형이 감소되어, 확장슬리브에 의한 마찰력이 고르게 작용함을 알 수 있었음.

○ 기존 비틀림 제어 확장앵커의 헤드부를 개선한 결과, 앵커와 콘크리트의 마찰면적과 응력이 발생하는 단면적의 마찰력이 확장되어 후설치 앵커의 마찰력이 향상되었음. 또한, 헤드부의 길이가 길어짐에 따라 슬리브와 더욱 견고하게 일체화되었고, 이에 콘크리트 내부에 걸림력이 크게 작용하여 인발내력이 향상되었음.

○ 유한요소해석을 수행하여 기존 비틀림 제어 확장앵커의 확장슬리브 및 헤드부를 개선한 결과, 최적의 슬리브 길이(9.0㎜)와 헤드 길이(3.0㎜)를 선정하였음. 이를 적용하여 기존 모델과 비교한 결과, 개선 모델의 성능은 기존 모델보다 약 2.3배 향상되었음(<표 2.9.5> 참조).

<표 2.9.5> 최종 설계안

Division	Case_1	Case_8
Parameter	Reference Shape	Optimum Shape
Load(kN)	83.2	187.6
Relative ratio(%)	1.0	2.3



[그림 2.9.6] 유한요소해석 결과

2.9.2 정착성능이 향상된 후설치 앵커의 성능평가

(1) 정착성능이 향상된 후설치 앵커의 성능평가 계획

○ 기존 비틀림 제어 확장앵커의 인발 및 전단성능을 향상시키기 위하여 유한요소해석을 수행하였음. 이에 앵커의 확장슬리브 및 헤드의 최적의 구조형상을 도출하였고, 해석결과를 통해 앵커의 성능이 향상됨을 검증하였음. 도출한 구조형상을 적용하여 개선된 비틀림 제어 확장앵커를 개발하였고, 앵커의 성능을 검토하기 위해 비균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 인발 및 전단실험을 수행하였음.

○ 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 성능평가실험을 위해 한국콘크리트학회에서 발간한 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'에 제시된 비균열 콘크리트에서의 '앵커 시스템 평가를 위한 시험 프로그램'을 따라 성능평가실험을 수행하였음(<표 2.9.6> 참조).

○ 본 연구에서는 실제 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 M10, M12, M16의 비틀림 제어 확장앵커를 대상으로 성능평가실험을 수행하였으며, 기준시험, 신뢰성시험 및 사용조건시험을 통해 각 직경별 앵커의 결과값이 변동계수 허용기준 값을 만족하는지 검토하였음.

<표 2.9.6> '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집' 앵커시스템 평가를 위한 시험 프로그램 (비균열 콘크리트)

시험 번호	목 적	내 용	콘크리트 강도	부재 두께	드릴비트 지름	최소 시험체 수
기준시험						
1	비균열 저강도 콘크리트	인장-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커	저강도	≥ h_{min}	d_m	5
2	비균열 고강도 콘크리트	인장-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커	고강도	≥ h_{min}	d_m	5
신뢰성시험						
3	시공정밀도에 대한 민감도	인장-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커	앵커타입에 따라 다름	≥ h_{min}	d_m	5
4	큰 앵커 구멍에 대한 민감도	인장-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커	저강도	≥ h_{min}	d_{max}	5
5	작은 앵커 구멍에 대한 민감도	인장-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커	고강도	≥ h_{min}	d_{min}	5
6	반복하중에 대한 신뢰도	반복 인장-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커, 잔류강도	저강도	≥ h_{min}	d_m	5
사용조건시험						
7	연단거리 $1.5h_{ef}$를 갖는 모서리에 설치된 앵커에 대한 콘크리트 파괴강도의 검증	인장-연단거리 $1.5h_{ef}$를 갖는 모서리에 설치된 단일 앵커	저강도	h_{min}	d_m	4
8	앵커 설치 시 쪼갬파괴를 방지하기 위한 최소 간격과 연단거리	높은 설치 인장(또는 비틀림) 또는 직접 인장-가장자리 가까이에 설치된 두 개의 앵커	저강도	h_{min}	d_m	5
9	앵커강재의 전단강도	전단-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커	저강도	≥ h_{min}	d_m	5

(2) 정착성능이 향상된 후설치 앵커의 성능실험 계획

○ 앵커성능평가를 위한 실험체 계획

- 본 연구의 시험대상인 비틀림 제어 확장앵커는 공동연구기관 ㈜원진에서 생산하는 앵커를 사용하여 실험을 수행하였음. 앵커의 설치를 위한 천공홀 깊이 및 유효묻힘깊이, 토크 값은 제조사에서 제시하고 있는 값을 따라 실험을 계획하였음.
- '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집' 에서 비균열 콘크리트에서의 앵커 성능실험에 제시된 시험체의 최소 개수는 5개이지만, 앵커의 신뢰성 및 DB를 확충하기 위해 5개의 시험체를 추가로 계획하여 각 직경별로 10개의 앵커에 대한 성능실험을 수행하였음. <표 2.9.6> ~ <표 2.9.7>은 각 직경별 후설치 앵커의 설치기준과 시험 프로그램에 따른 시험체 수를 나타내었음.
- 시험번호 3의 경우, 본 연구의 시험대상인 비틀림 제어 확장앵커는 시험 프로그램 기준에 따라 고강도 콘크리트에서 0.3㎜의 균열을 유발하여 시험을 수행하여야 함. 하지만, 1차년도에는 균열 콘크리트에 대한 제작 및 실험시스템을 이해하기 위한 학습을 수행하고 있기에 균열 콘크리트를 제작하기 위한 여

건이 충분하지 않아 본 시험의 경우 최소 시험체 개수를 5개로 계획하였음.

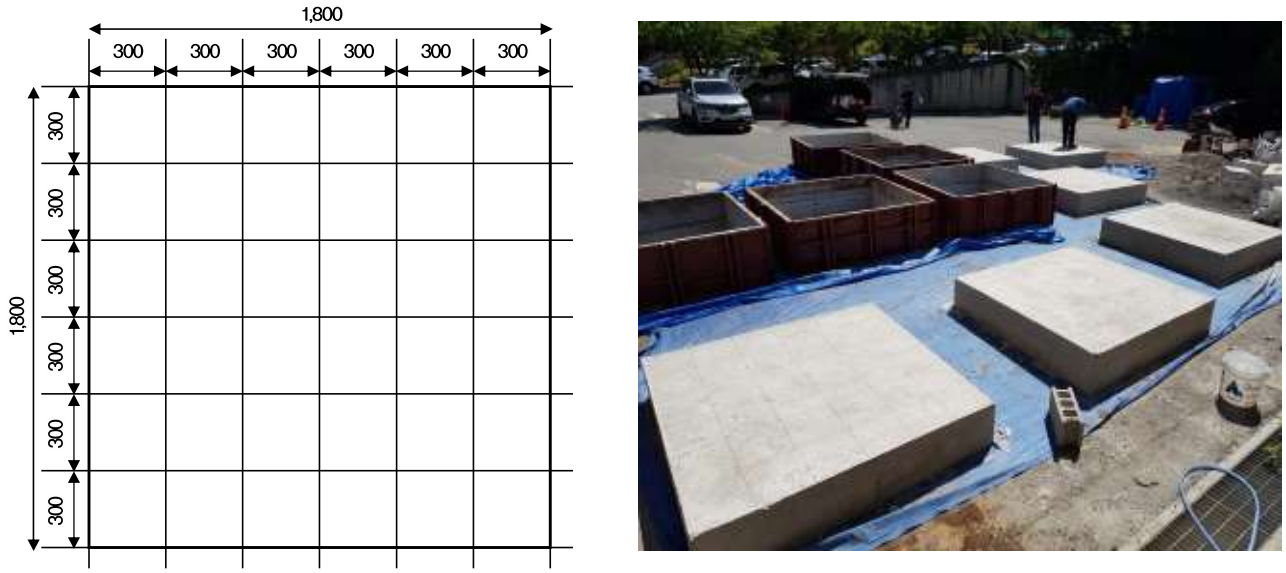
- 시험번호 6의 경우, 반복하중에 대한 앵커의 성능평가를 위한 시험으로 시험기준에 따라 각 직경별 앵커에 10회, 100회, 1,000회, 10,000회, 100,000회의 반복하중을 가력해야 함. 시험 특성상 실험 시간이 오래 소요되므로 본 시험의 경우 최소 시험체 개수를 5개로 계획하였음.

<표 2.9.7> 후설치 앵커 성능검증 계획

D(㎜)	h_{ef}(㎜)	T_{inst}(N·m)	Non-cracked concrete anchors test program									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sum
M8	45	15	10	10	5	10	10	5	10	10	10	80
M10	50	30	10	10	5	10	10	5	10	10	10	80
M12	70	50	10	10	5	10	10	5	10	10	10	80
M16	80	100	10	10	5	10	10	5	10	10	10	80
M20	100	200	10	10	5	10	10	5	10	10	10	80
Sum			50	50	25	50	50	25	50	50	50	400

○ 실험체 제작

- 확장슬리브 및 헤드 상세가 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 성능평가실험을 위해 콘크리트 모재는 1,800㎜×1,800㎜×300㎜(B×D×H) 규격의 콘크리트 큐빅을 제작하였음. 실험 시 앵커의 콘크리트 파괴면적에 영향이 없도록 콘크리트 내에 철근은 배근하지 않았음. 콘크리트의 두께는 $h_{min}=1.5h_{ef}$ 이상으로 제작하였음. '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'의 시험기준을 따라 저강도 콘크리트는 21MPa, 고강도 콘크리트는 45MPa로 계획하여 콘크리트를 제작하였음.



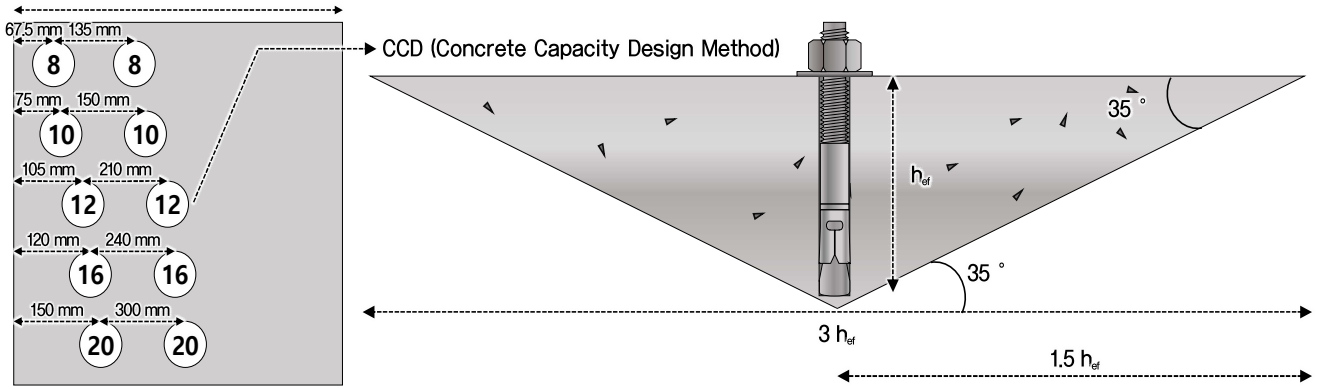
[그림 2.9.7] 비균열 콘크리트 시험체 계획

- 앵커 설치 시 콘크리트 모재와 수직이 되도록 정밀한 시공을 진행하였으며, 앵커 간 최소설치 간격은 CCD(Concrete Capacity Design Method)의 설계방법을 따라 각 직경별 앵커 간격을 산정하였음. 쪼갬파괴 및 앵커 간 상호영향을 주지 않기 앵커 설치간격에 대하여 검토하였으며, 최종적으로 실험 시

앵커 간에 영향을 주지 않도록 최소 앵커간격 $S_{min} \geq 1.5h_{ef}$으로 앵커를 설치하였음.

<표 2.9.8> 각 직경별 앵커 설치 간격 (제조사에서 명시한 유효묻힘깊이)

D(㎜)	h_{ef}(㎜)	S_{min}(㎜)	
		$\cot 35° \times h_{ef}$	$1.5h_{ef}$
M8	45	64	67.5
M10	50	71	75
M12	70	100	105
M16	80	114	120
M20	100	143	150

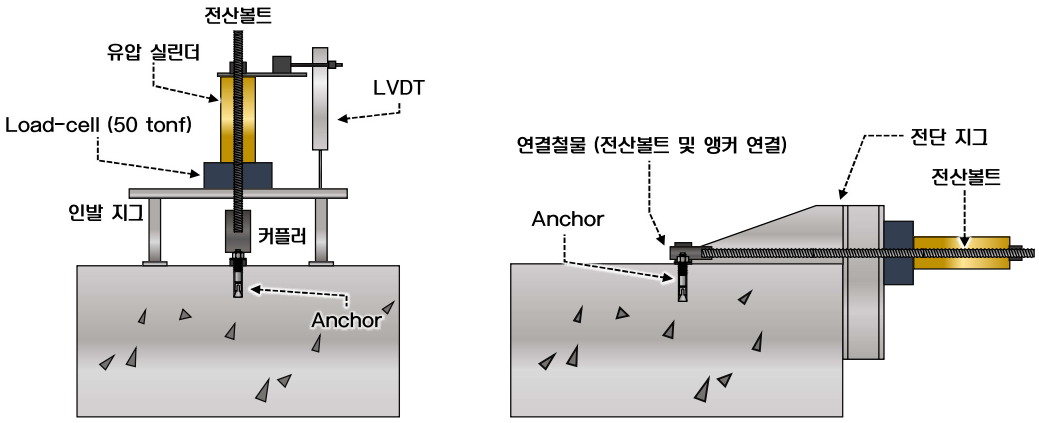


[그림 2.9.8] 앵커 설치 간격 산정

- 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 성능평가실험을 위해 인발 및 전단실험에 대한 셋팅도를 [그림 2.9.9]에 나타내었음. 인발 및 전단시험의 경우, 시험기준에 따라 앵커를 설치하고 제조사에서 제시하고 있는 방법을 따라 각 직경별 앵커의 적정 토크 값을 가한 후 10분이 경과하면 토크를 완전히 제거하고 다시 50%의 토크를 가하여 실험을 수행하였음.

① 인발시험의 경우, 후설치 앵커 나사산부에 연결철물(커플러)을 체결하고 인발지그가 앵커의 중심에 오도록 설치하였음. 인발지그에는 로드셀(500kN)을 결속하였으며, 로드셀 위로 유압실린더를 설치하고 전산볼트로(M24)로 앵커(커플러)-로드셀-유압실린더 순으로 일체화하였음. 유압실린더(300kN)를 이용하여 하중을 가한 후 로드셀로 하중 값을 측정하였고, LVDT(200㎜)는 지그에 고정하여 상대변위를 측정하였음. 이때, 인발지그는 각 직경별 앵커의 $1.5h_{ef}$를 갖는 콘크리트 콘파괴 면적에 영향을 주지 않도록 인발지그 규격을 조정해야함(인발지그로 인한 콘크리트 압축대 형성에 주의해야함).

② 전단시험의 경우, 후설치 앵커 나사산부에 연결철물(커플러)을 체결하고, 앵커의 직각방향의 중심에 오도록 설치하였음. 전단지그에는 로드셀(500kN)을 결속하였으며, 로드셀 위로 유압실린더를 설치하고 전산볼트로(M24)로 앵커(커플러)-로드셀-유압실린더 순으로 일체화하였음. 유압실린더(300kN)를 이용하여 하중을 가한 후 로드셀로 하중 값을 측정하였고, LVDT(200㎜)는 지그에 고정하여 상대변위를 측정하였음. 이때, 전단지그는 콘크리트 측면에 설치되는데 전단하중 작용 시 콘크리트 측면과 전단지그 사이에 슬립이 발생할 것을 고려하여 전단지그 단면의 넓이를 충분히 확보해야 함.



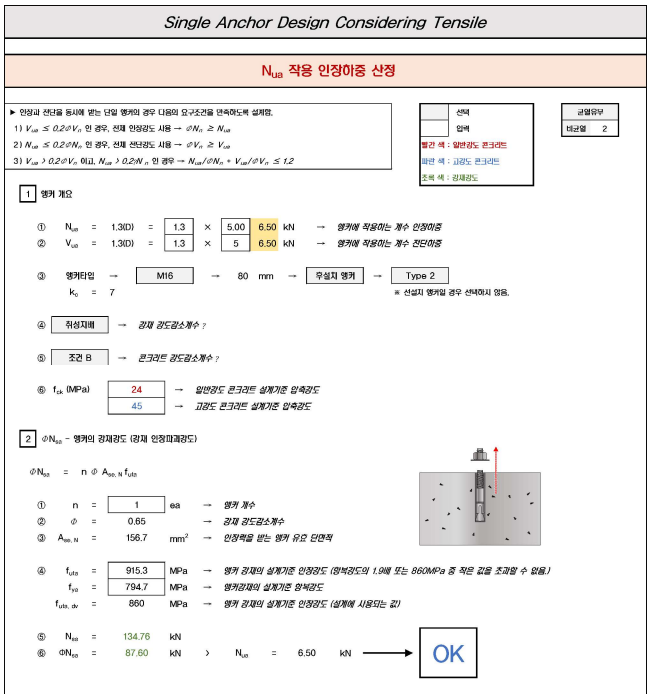
(a) 인발시험 Set-up　　(b) 전단시험 Set-up

[그림 2.9.9] 후설치 앵커 성능실험을 위한 인발 및 전단시험 셋팅도

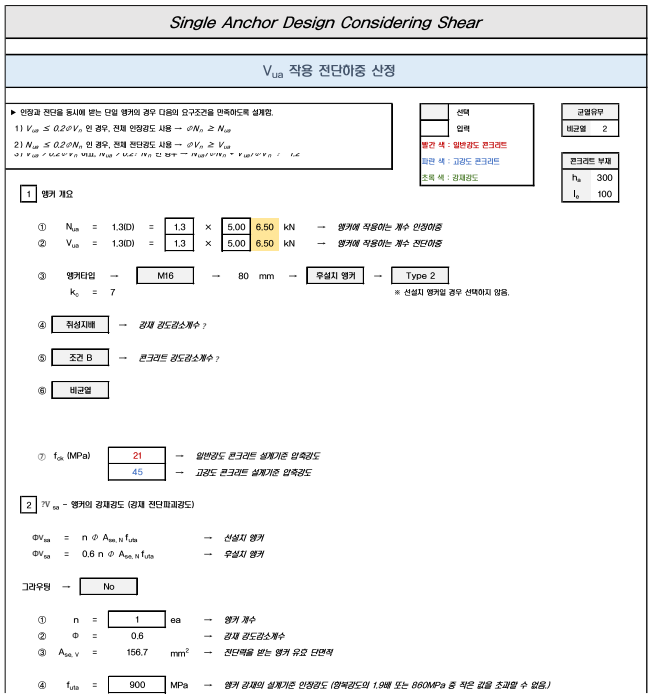
③ 정착성능이 향상된 비틀림 제어 확장앵커의 성능평가실험을 위해 한국콘크리트학회에서 발간한 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'의 설계기준을 따라 각 직경별 앵커의 설계강도를 산정하였음. [그림 2.9.10]는 설계기준에 따라 인장력에 대해서는 콘크리트 파괴에 대한 설계강도, 전단력에 대해서는 콘크리트 단부파괴에 대한 설계강도를 산정한 엑셀 프로그램을 나타낸 것이며, <표 2.9.9>는 산정한 설계강도 값을 나타내었음.

<표 2.9.9> 각 직경별 앵커의 설계강도 산정

Content	f_{ck}(MPa)	M8	M10	M12	M16	M20
Tensile Load(kN)	21	7.1	10.8	17.0	25.8	35.1
	45	9.8	14.9	23.5	35.6	48.4
Shear Load(kN)	21	6.4	11.2	14.9	26.1	42.5



(a) 인장하중 설계



(b) 전단하중 설계

[그림 2.9.10] 각 직경별 앵커의 인장 및 전단하중 산정

○ 개선된 후설치 앵커의 성능평가실험을 위한 콘크리트 모재 제작 및 앵커 설치과정은 [그림 2.9.11]에 나타내었음.



① 거푸집 제작



② 콘크리트 타설 및 진동다짐



③ 콘크리트 면 미장



④ 콘크리트 양생 및 거푸집 탈형



⑤ 앵커 설치를 위한 그리드 작업



⑥ 콘크리트 모재 천공홀 작업



⑦ 천공홀 내부 이물질 제거



⑧ 햄머를 이용하여 앵커 설치



⑨ 각 직경별 앵커 토크 값 적용





⑩ 앵커 설치 완료

[그림 2.9.11] 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능실험을 위한 콘크리트 모재 제작 및 앵커 설치 과정

(3) 재료시험결과

○ 앵커 강재시험

- 앵커 강재에 대한 특성시험은 공동기관인 ㈜원진에서 시험인증 전문기관에 의뢰하여 앵커 소재에 대한 강재인장시험을 수행하였고 <표 9.10>에 특성시험에 대한 결과를 나타내었음. 시험 결과는 시험체 3개에 대한 평균값임.

- 제조사에서 제시하고 있는 앵커 강재의 성능은 연신율 14% 이상, 단면수축률 30% 이상을 요구하고 있는데 강재 시험결과 <표 2.9.10>과 같이 요구 성능을 만족하는 것으로 나타났음.

<표 2.9.10> 앵커 강재 특성시험

직경(㎜)	인장강도(MPa)	항복강도(MPa)	연신률(%)	단면수축률(%)	인장유효단면적(㎟)
8	900.0	800.0	20.0	42.7	20.1
10	871.0	757.0	20.3	42.3	36.6
12	905.7	783.7	20.3	52.7	84.3
16	915.3	794.7	17.3	53.3	156.7
20	907.5	789.4	20.1	53.2	244.8

○ 콘크리트 모재 시험체 제작

- 개선된 후설치 앵커의 성능평가를 위한 콘크리트 모재의 강도는 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집' 에 제시되어 있는 시험기준을 따라 저강도 콘크리트 21MPa, 고강도 콘크리트 45MPa로 계획하였음.

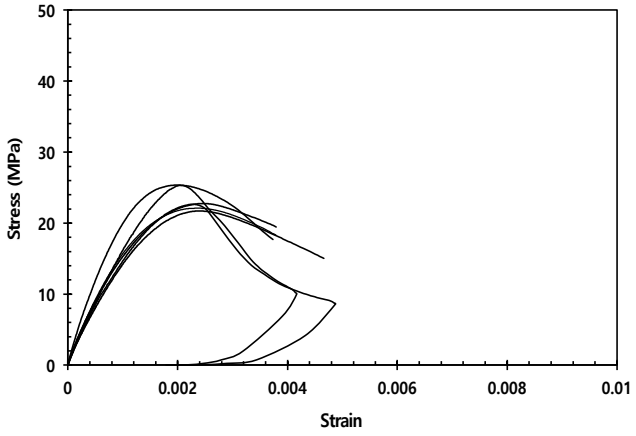
- 콘크리트 모재의 강도를 평가하기 위해 콘크리트 공시체 압축강도시험을 수행하였음. 콘크리트 압축강도 시험을 위한 공시체는 KS F 2404에 따라 100㎜×200㎜(직경×높이)의 원통형 실린더 몰드로 제작하였음. 콘크리트 공시체는 3일이 지난 후에 탈형하여 본 시험체와 동일한 조건(대기양생)에서 양생하였음. 28일 양생을 완료한 후 콘크리트 압축강도시험을 수행한 결과, 저강도 콘크리트는 23.3MPa, 고강도 콘크리트는 46.1MPa로 나타나 기준에 제시된 시험조건을 만족하였음.



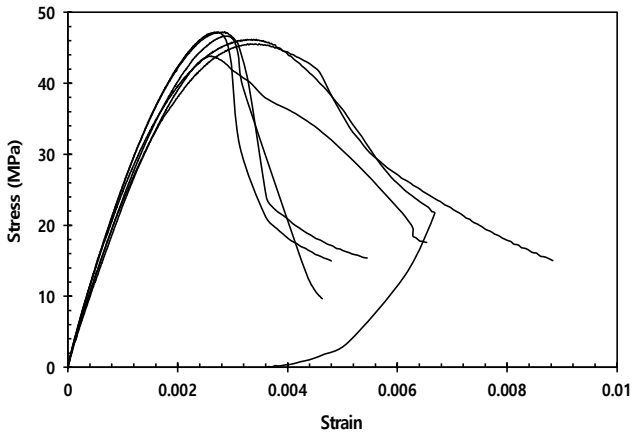
[그림 2.9.12] 콘크리트 공시체 압축강도시험

<표 2.9.11> 콘크리트 압축강도시험결과

Specimen	Low strength concrete(MPa)	High strength concrete(MPa)
1	22.8	46.6
2	22.1	47.3
3	25.3	43.8
4	21.7	46.2
5	22.6	47.2
6	25.3	45.5
Average	23.3	46.1



[그림 2.9.13] 저강도 콘크리트 압축강도시험결과



[그림 2.9.14] 고강도 콘크리트 압축강도시험결과

(4) 정착성능이 향상된 비틀림 제어 확장앵커 성능검증실험 및 결과

○ 본 연구에서는 인발 및 전단성능이 향상된 비틀림 제어 확장앵커의 성능평가를 위한 실험을 수행하였음. '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'에 제시된 기준시험, 신뢰성시험 및 사용조건시험의 기준을 따라 시험을 수행하였으며, 각 시험별 변동계수 허용기준 값을 만족하고 있는지 검토하였음.

○ '기준시험'은 콘크리트 강도에 따른 앵커의 인발시험을 수행하여 신뢰성 및 사용조건시험에 대한 기준값을 평가하기 위해 수행함. 기준시험의 경우, 시험결과에 대한 변동계수가 극한인장하중의 변동계수 허용기준인 15% 이내를 만족해야함.

- 기준시험은 시험번호 ①, ②에 해당되며, 콘크리트 강도에 따른 앵커의 순수 인발성능을 검토하기 위한 시험으로 단일 앵커에 대한 시험임. 본 연구에서는 앵커의 순수 인발성능을 검토하고 시혐결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 기준에 제시된 콘크리트 투영파괴면적($1.5h_{ef}$)에 영향을 미치지 않도록 앵커 사이의 간격은 $3.0h_{ef}$로 계획하여 앵커를 설치한 후 실험을 수행하였음.

○ '신뢰성시험'은 앵커 설치 시 또는 사용 시 정상상황 또는 불리한 조건에서 앵커가 유효한 거동을 할 수 있는 검증하기 위해 수행함. '신뢰성시험'의 경우, 시공정밀도에 대한 시험, 큰 드릴비트를 갖는 저강도 콘크리트에서의 시험, 작은 드릴비트를 갖는 고강도 콘크리트에서의 시험, 반복하중에 대한 시험 등이 있음. 신뢰성시험의 경우, 시험결과에 대한 변동계수가 극한인장하중의 변동계수 허용기준인 20% 이내를 만족해야함.

- 신뢰성시험은 시험번호 ③, ④, ⑤, ⑥에 해당되며, 실제 현장에서 발생할 수 있는 불리한 상황에 설치되거나 사용하는 있는 후설치 앵커의 시공정밀도를 검증하기 위한 시험임.

- 시험번호 ③은 균열이 발생한 콘크리트에 후설치 앵커가 충분한 인발성능이 작용하고 있는지 검토하는 시험임. 본 시험은 콘크리트에 0.3㎜의 균열을 유발하고 앵커를 설치함. 이후 비틀림 제어 확장앵커의 설치방법에 따라 각 직경별 앵커의 토크값을 적용하고 인발시험을 통해 앵커의 성능을 검토함. 이때, 본 연구의 시험대상인 비틀림 제어 확장앵커는 천공홀에 의해 인발성능이 결정되는데, 콘크리트에 균열이 발생하면 앵커 설치를 위한 천공홀이 확장되어 슬리브가 콘크리트에 저항하는 성능이 저하됨. 이에 콘크리트와 슬리브 사이의 마찰저항을 향상시키기 위해 본 시험의 콘크리트 강도는 시험기준에 따라 고강도 콘크리트로 계획하여 수행함(콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집 ' 기계식 후설치 앵커의 평가지침 ' 참조).

- 시험번호 ④, ⑤는 각 직경별 앵커의 표준구멍보다 크거나 작은 상황에서 설치되는 앵커의 성능을 검증하기 위한 시험임. 각 직경별 앵커는 적정 표준직경에 설치되어야 앵커의 기능이 충분히 발휘됨. 하지만, 실제 현장에서는 앵커 설치 시 표준직경에 설치하기 어려운 상황이 발생할 수 있으므로 본 시험에서는 표준직경보다 크거나 작은 직경을 적용하여 앵커의 성능을 검토하고자 함. 큰 구멍 및 작은 구멍의 시험을 위한 드릴비트 직경은 콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집에 제시된 시험기준(카바이드 해머 드릴비트의 요구 지름)을 따라 앵커의 공칭지름에 따른 큰 구멍(d_{max}) 및 작은 구멍(d_{min}) 지름의 드릴비트를 사용하여 시험을 수행하였음(콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집 ' 기계식 후설치 앵커의 평가지침 ' 참조).

- 시험번호 ⑥은 앵커가 설치된 후 외부요인에 의해 지속하중이 작용될 때 앵커가 정상적으로 거동하거나 충분한 인발성능을 확보하고 있는지 검증하는 시험임. 본 연구는 시험기준을 따라 10^1, 10^2, 10^3, 10^4, 10^5회 반복가력하여 앵커에 피로하중을 적용함. 본 실험에서는 장시간 앵커에 반복하중을 가력할 수 있는 유압식 액추에이터를 사용하여 반복하중을 가력하고, 시험이 종료되면 잔류강도시험을 통해

앵커의 잔존인발성능을 검토함.

` ○ ‘사용조건시험‘은 앵커가 사용조건에서 앵커의 성능을 예상하기 위해 필요한 기초자료를 결정하기 위해 수행함. ’사용조건시험‘의 경우 최소 연단거리 및 최소간격 상태의 시험, 간격 및 가장자리 영향이 없는 단일 앵커에 대한 전단시험 등이 있음. 본 시험의 경우, 시험결과에 대한 변동계수 허용기준은 없으나, 기준시험과 비교할 경우 동등한 성능을 만족해야 함.

- 사용조건시험은 시험번호 ⑦, ⑧, ⑨에 해당되며, 기준시험 및 신뢰성시험의 연구결과를 기반으로 하여 특수한 조건에서의 앵커성능을 검증하기 위한 시험임.
- 시험번호 ⑦은 콘크리트 구조물의 가장자리에 설치되는 앵커의 성능을 검토하기 위한 시험으로, 앵커 설치를 위한 연단거리는 각 직경별 앵커의 $1.5h_{ef}$를 적용하여 설치함. 본 시험의 경우, 콘크리트 모재의 모서리에서 각 직경별 앵커의 $1.5h_{ef}$ 만큼 연단거리를 확보하여 앵커를 설치하고 단순인발시험을 통해 앵커의 성능을 검토함.
- 시험번호 ⑧은 앵커를 여러개 설치할 시 앵커 간에 콘크리트 쪼개짐으로 인해 앵커의 인발성능에 영향을 미치는지 검증하고자 하는 시험임. 본 시험은 앵커 제조사에서 검증하고자 하는 조건을 따라 앵커의 최소간격을 각 직경별 앵커의 $1.0h_{ef}$, $1.3h_{ef}$, $1.5h_{ef}$를 적용하여 앵커를 설치함. $1.5h_{ef}$를 기준으로 하여 앵커의 최소 간격을 점차 줄여 앵커 설치 시 콘크리트 쪼개짐에 의한 각 직경별 앵커의 콘크리트 투영파괴면적(후설치 앵커의 콘크리트 콘파괴 유도를 위한 면적)에 영향을 미치는지 검토함.
- 시험번호 ⑨은 앵커가 직각방향의 전단력에 의해 충분한 전단성능을 확보하고 있는지 검증하는 시험임. 외부요인이나 지진하중에 의해 앵커는 전단력에 저항할 수 있는 성능이 매우 중요하며, 앵커의 전단성능은 앵커 강재 및 앵커 정착부에 의해 성능이 결정됨. 본 시험에서는 앵커의 전단성능을 검토하기 위해 자체적으로 콘크리트 부재측면에 실험셋팅을 할 수 있도록 전단지그를 제작하여 시험기준을 따라 단일 앵커의 전단시험을 수행하였음.

○ 개선된 후설치 앵커의 성능평가를 위한 콘크리트 모재 시험체 및 실험방법은 다음과 같으며, 기준시험, 신뢰성시험 및 사용조건시험 모두 동일한 조건에서 실험을 수행하였음. 단, 각 시험별로 시험내용에 대하여 특수한 조건을 적용해야 하는 경우 제시된 시험조건을 따라 성능평가실험을 수행하였음. 또한, 콘크리트 모재 시험체는 1,800㎜×1,800㎜×300㎜(B×D×H) 규격으로 모든 시험에 대해 동일한 조건으로 적용하였음(단, 콘크리트 강도는 시험조건에 따라 구분하여 제작하였고, 시험번호 3 및 시험번호 6의 경우 시험체 규격 및 상세가 다르므로 시험조건에 맞게 콘크리트 모재를 계획하였음).

<표 2.9.12> 비균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 성능평가시험 계획 (1)

Test Number	Concrete Standard(B×D×H)	f_{ck}(MPa)
1, 4, 7, 8, 9	1,800㎜×1,800㎜×300㎜	21
2, 5		45
3	900㎜×600㎜×300㎜	45
6	600㎜×300㎜×400㎜	21

<표 2.9.13> 비균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 성능평가시험 계획 (2)

시험번호	시험내용	f_{ck}(MPa)	시험체 개수
기준시험			
1	비균열 저강도 콘크리트에서의 인발시험	21	10
2	비균열 고강도 콘크리트에서의 인발시험	45	10
신뢰성시험			
3	시공정밀도에 대한 민감도 (비틀림력 50% + 0.3㎜ 균열)	45	5
4	큰 앵커 구멍에 대한 민감도 인발시험	21	10
5	작은 앵커 구멍에 대한 민감도 인발시험	45	10
6	앵커의 반복하중시험 및 잔류강도 평가	21	5
사용조건시험			
7	연단거리 $1.5h_{ef}$를 갖는 모서리에 설치된 앵커에 대한 콘크리트 파괴강도 평가	21	10
8	앵커 설치 시 쪼갬파괴를 방지하기 위한 최소 간격과 연단거리	21	10
9	비균열 저강도 콘크리트에서의 전단시험	21	10

- 시험번호 ① (기준시험 / 비균열 저강도 콘크리트)

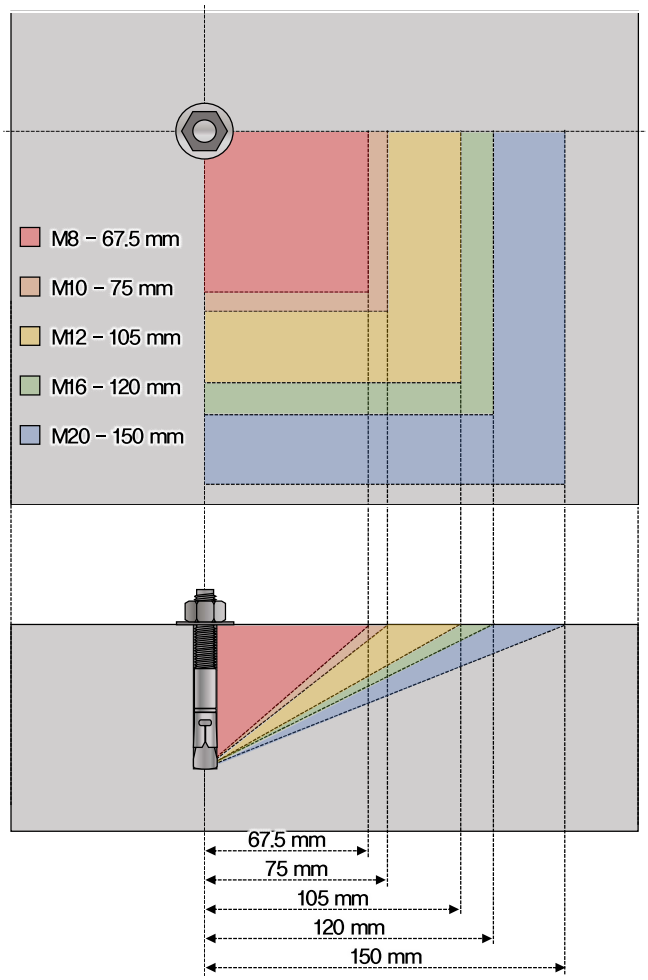
① 비균열 저강도 콘크리트에서의 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 5.2 ~ 13.5%로 나타나 기준시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 15% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음.

② 비균열 저강도 콘크리트에서의 인발시험결과, 각 직경별 앵커의 성능은 설계강도 대비 약 224 ~ 246% 높게 나타났음. <표 2.9.16>는 시험결과를 나타낸 것이고, [그림 2.9.16]는 각 직경별 앵커의 인발하중을 나타낸 것임.

- 시험번호 ② (기준시험 / 비균열 고강도 콘크리트)

① 비균열 고강도 콘크리트에서의 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 5.6 ~ 14.4%로 나타나 기준시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 15% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음.

② 비균열 고강도 콘크리트에서의 인발시험결과, 각 직경별 앵커의 성능은 설계강도 대비 약 186 ~ 263% 높게 나타났음. <표 2.9.17>는 시험결과를 나타낸 것이고, [그림 2.9.17]는 각 직경별 앵커의 인발하중을 나타낸 것임.



[그림 2.9.15] 각 직경별 앵커의 콘크리트 콘파괴 면적

<표 2.9.14> 시험번호 ① 인발시험결과

D(㎜)	N_{design}(kN)	N_{test}(kN)	Stdev	CoV(%)
M8	7.1	16.5	1.7	10.5
M10	10.8	24.2	3.3	13.5
M12	17.0	41.7	4.8	11.5
M16	25.8	59.5	6.2	10.3
M20	35.1	79.5	4.2	5.2

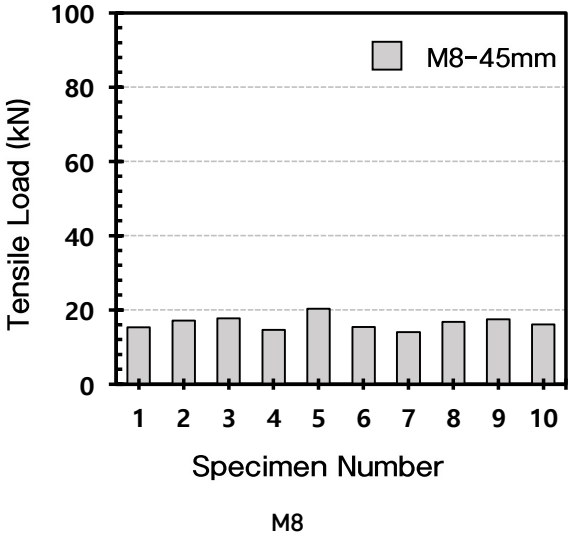
<표 2.9.15> 시험번호 ② 인발시험결과

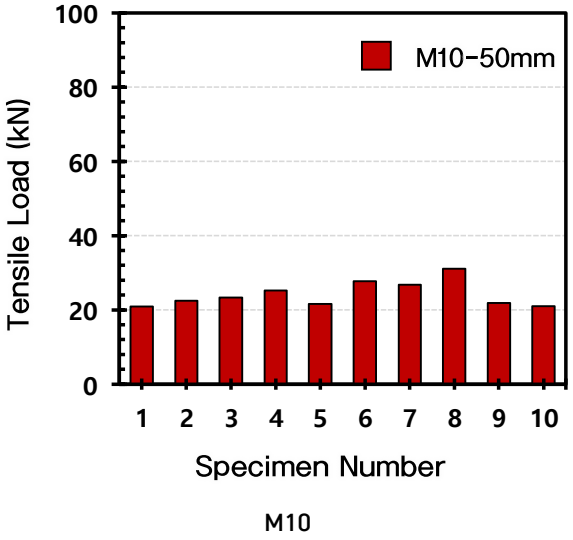
D(㎜)	N_{design}(kN)	N_{test}(kN)	Stdev	CoV(%)
M8	9.8	25.7	3.7	14.4
M10	14.9	32.9	4.0	12.0
M12	23.5	52.2	2.9	5.6
M16	35.6	73.1	8.8	12.1
M20	48.4	90.2	5.5	6.1

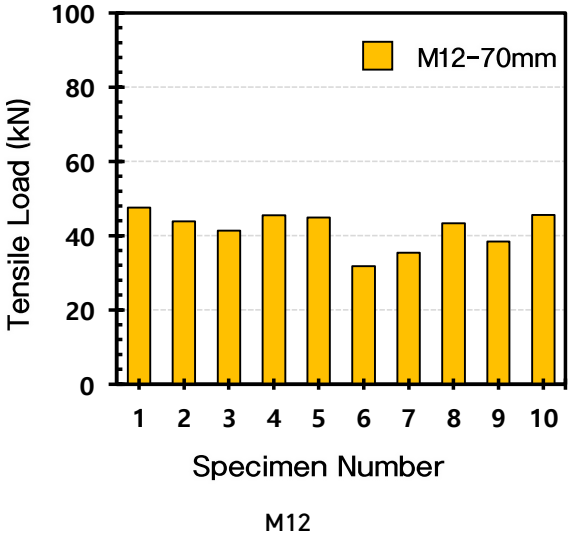
<표 2.9.16> 시험번호 ① 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값)

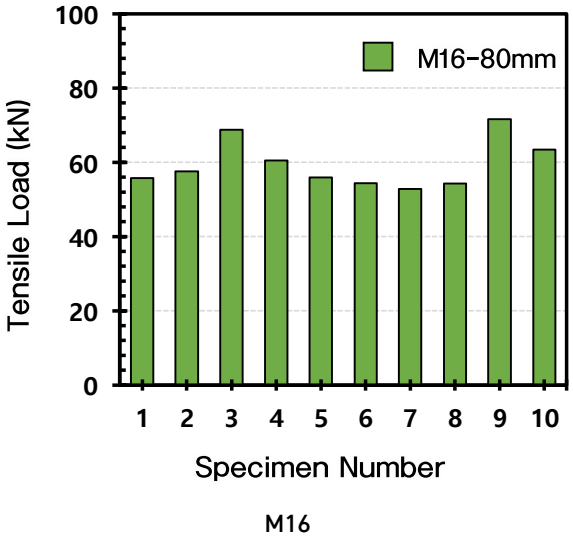
f_{ck}(MPa)	21	Test Number ①													
D(㎜)		8			10			12			16			20		
h_{ef}(㎜)		45			50			70			80			100		
Result		Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode
Specimen	1	15.3	4.1	CB	20.8	12.0	PF	47.5	9.2	CB	55.7	9.1	CB	78.4	12.0	CB
	2	17.1	1.4	CB	22.5	7.7	CB	43.9	10.6	CB	57.6	8.4	CB	84.9	20.6	CB
	3	17.7	0.7	CB	23.3	7.5	CB	41.4	10.7	CB	68.8	8.7	CB	85.5	13.8	CB
	4	14.6	3.7	PF	25.2	4.7	CB	45.5	9.5	CB	60.4	9.6	CB	83.5	13.6	CB
	5	20.3	1.7	CB	21.6	8.5	CB	44.9	8.9	CB	55.9	8.3	CB	81.6	12.7	CB
	6	15.4	2.1	CB	27.8	4.6	CB	31.8	5.9	CB	54.4	10.6	CB	79.9	13.6	CB
	7	14.0	1.4	PF	26.7	4.6	CB	35.4	9.5	CB	52.8	4.0	CB	72.6	14.6	CB
	8	16.8	2.7	CB	31.1	2.2	CB	43.3	10.7	CB	54.2	6.0	CB	77.4	8.8	CB
	9	17.5	2.0	CB	21.8	5.9	PF	38.4	13.0	CB	71.6	10.9	CB	75.9	18.2	CB
	10	16.1	1.7	CB	21.0	5.2	CB	45.5	9.8	CB	63.4	5.0	CB	74.9	14.4	CB
Average(kN)		16.5	2.1	-	24.2	6.3	-	41.7	9.8	-	59.5	8.1	-	79.5	14.2	-
Standard Deviation		1.7			3.3			4.8			6.2			4.2		
Coefficient of Variation(%)		10.5			13.5			11.5			10.3			5.2		

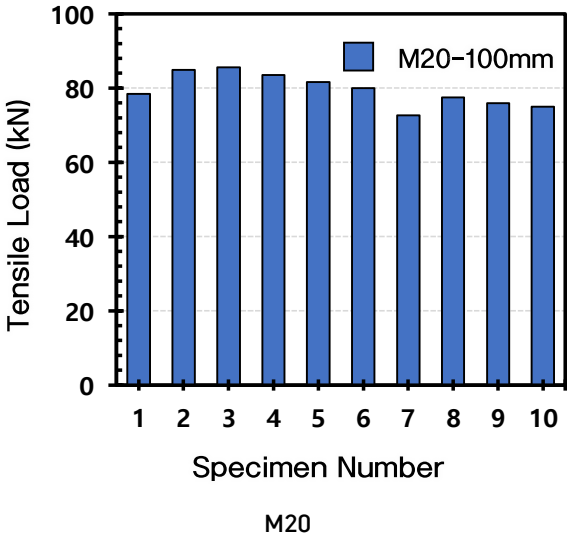
- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout

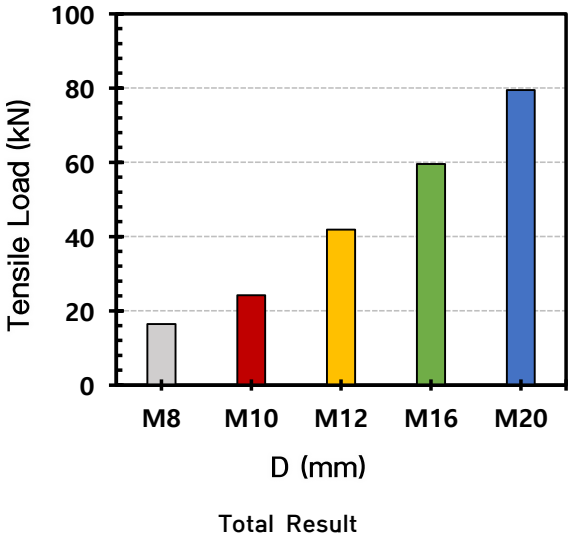










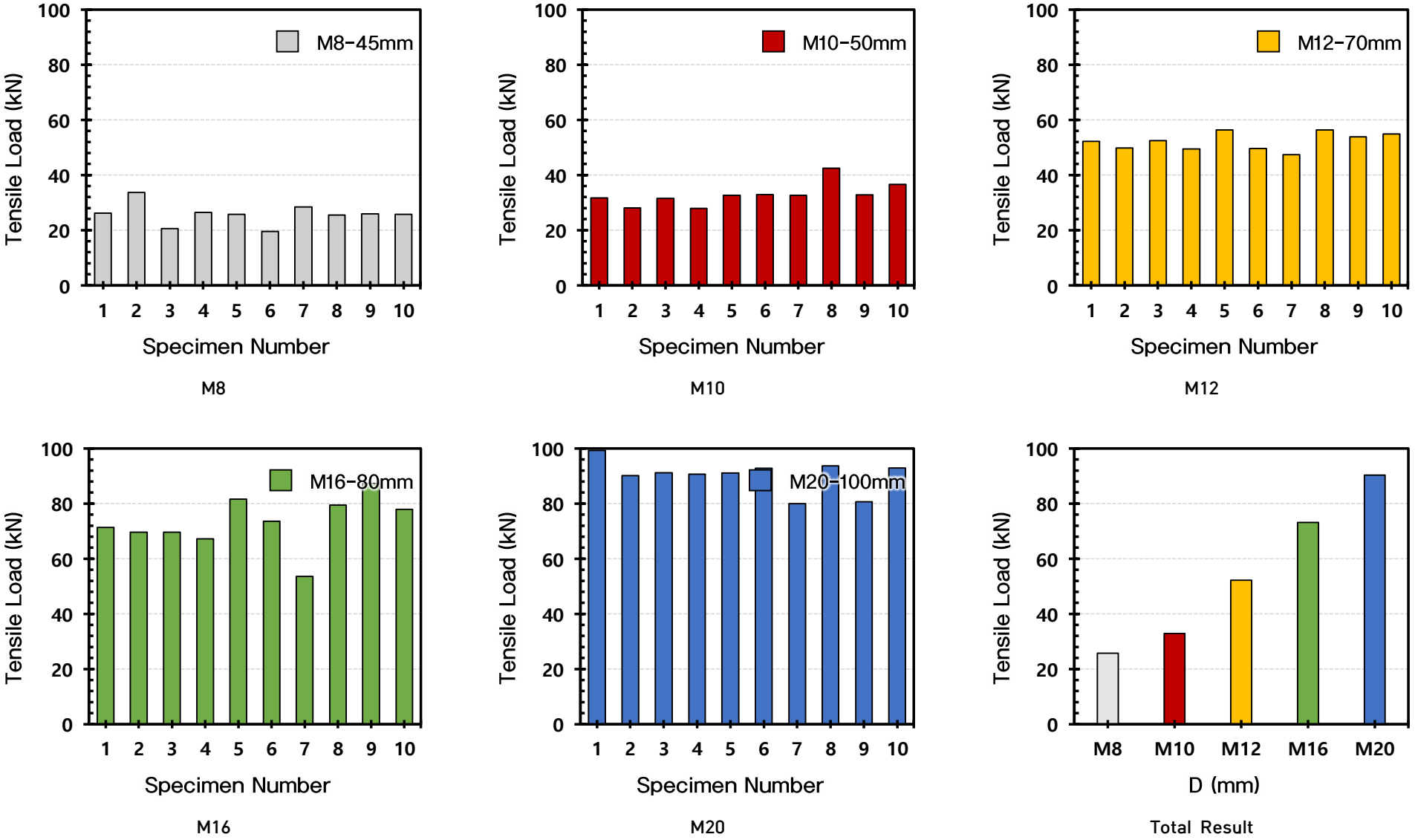


[그림 2.9.16] 시험번호 ① 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교)

<표 2.9.17> 시험번호 ② 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값)

f_{ck}(MPa)	45	Test Number ②													
D(㎜)		8			10			12			16			20		
h_{ef}(㎜)		45			50			70			80			100		
Result		Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode
Specimen	1	26.1	4.1	CB	31.6	13.7	CB	52.2	10.9	CB	71.3	13.5	CB	99.2	17.5	CB
	2	33.7	5.2	CB	28.1	10.7	CB	49.8	17.1	CB	69.6	11.1	CB	90.2	15.5	CB
	3	20.5	4.4	CB	31.5	4.6	CB	52.4	6.5	CB	69.6	10.7	CB	91.1	14.5	CB
	4	26.3	3.2	CB	27.9	3.5	PF	49.4	7.3	CB	67.2	12.1	CB	90.6	25.8	CB
	5	25.6	1.8	CB	32.6	8.2	CB	56.3	14.1	CB	81.5	9.8	CB	91.0	20.7	CB
	6	19.5	3.4	PF	32.9	8.8	CB	49.6	12.0	CB	73.6	16.0	CB	92.7	20.1	CB
	7	28.5	2.9	CB	32.7	8.2	CB	47.4	8.5	CB	53.6	9.8	CB	80.0	25.8	CB
	8	25.5	4.2	CB	42.5	6.2	CB	56.3	7.3	CB	79.4	13.6	CB	93.7	16.3	CB
	9	25.9	2.6	CB	32.8	5.0	CB	53.8	12.2	CB	87.3	13.5	CB	80.6	25.8	CB
	10	25.7	4.5	CB	36.5	17.6	CB	54.8	14.4	CB	77.9	10.7	CB	92.9	18.4	CB
Average(kN)		25.7	3.6	-	32.9	8.6	-	52.2	11.0	-	73.1	12.1	-	90.2	20.0	-
Standard Deviation		3.7			4.0			2.9			8.8			5.5		
Coefficient of Variation(%)		14.4			12.0			5.6			12.1			6.1		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout



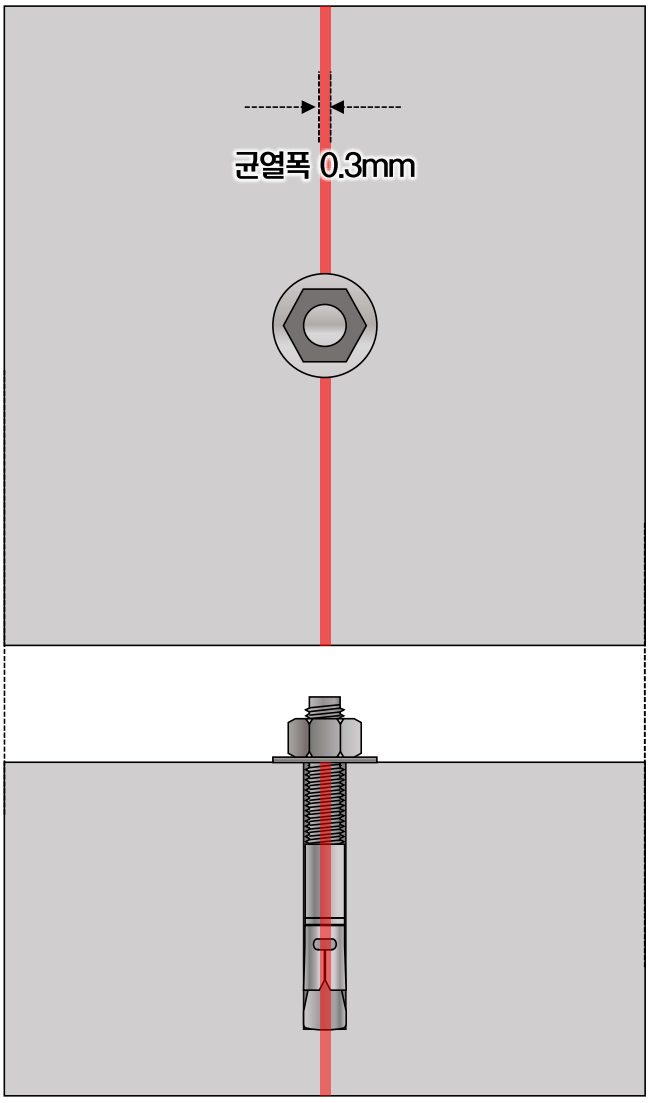
[그림 2.9.17] 시험번호 ② 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교)

- 시험번호 ③ (신뢰성시험 / 균열 고강도 콘크리트 + 각 직경별 앵커의 토크 값 50% 적용)

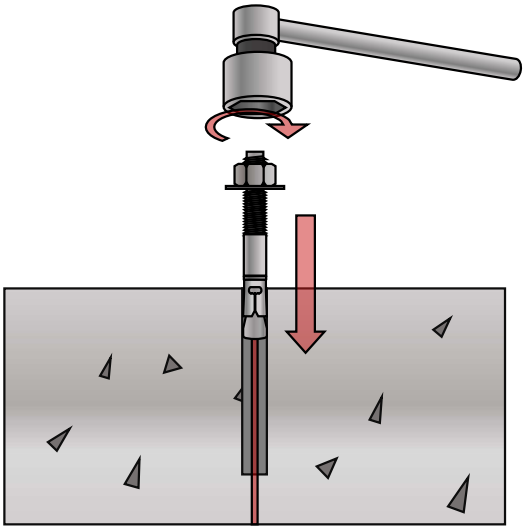
① 본 연구의 시험대상은 비틀림 제어 확장앵커로, 시험기준에 따라 고강도 콘크리트에 0.3㎜의 균열을 유발하였음. 이후, 앵커 설치 후 제조사에서 명시하고 있는 비틀림 $T=0.5T_{inst}$만 적용하여 실험을 수행하였음.

② 균열 고강도 콘크리트 및 50%의 토크 값을 적용한 앵커의 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 2.0 ~ 16.8%로 나타나 신뢰성시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음.

③ 본 시험의 경우, 기준시험(시험번호 ②) 대비 평균인발하중이 약 47 ~ 58% 정도로 낮게 나타났음. 비틀림 제어 확장앵커의 경우, 앵커 설치 후 비틀림력에 의해 앵커의 지지력이 결정됨. 본 시험에서는 각 직경별 앵커의 50% 토크 값을 가력하였고, 균열면에 앵커를 설치하였기 때문에 앵커가 콘크리트에 저항하는 능력이 저하되어 앵커의 내력이 감소하였음. 기준시험 대비 본 시험의 평균인발하중은 낮게 나타났지만, 콘크리트 콘파괴 설계강도보다 높게 나타나 불리한 설치 조건에서도 앵커의 성능은 충분히 확보되었음을 확인하였음. <표 2.9.19>는 시험결과를 나타낸 것이고, [그림 2.9.20]는 각 직경별 앵커의 인발하중을 나타낸 것임.



[그림 2.9.18] 0.3㎜ 균열 콘크리트 제작



[그림 2.9.19] $T=0.5T_{isnt}$ 토크 가력

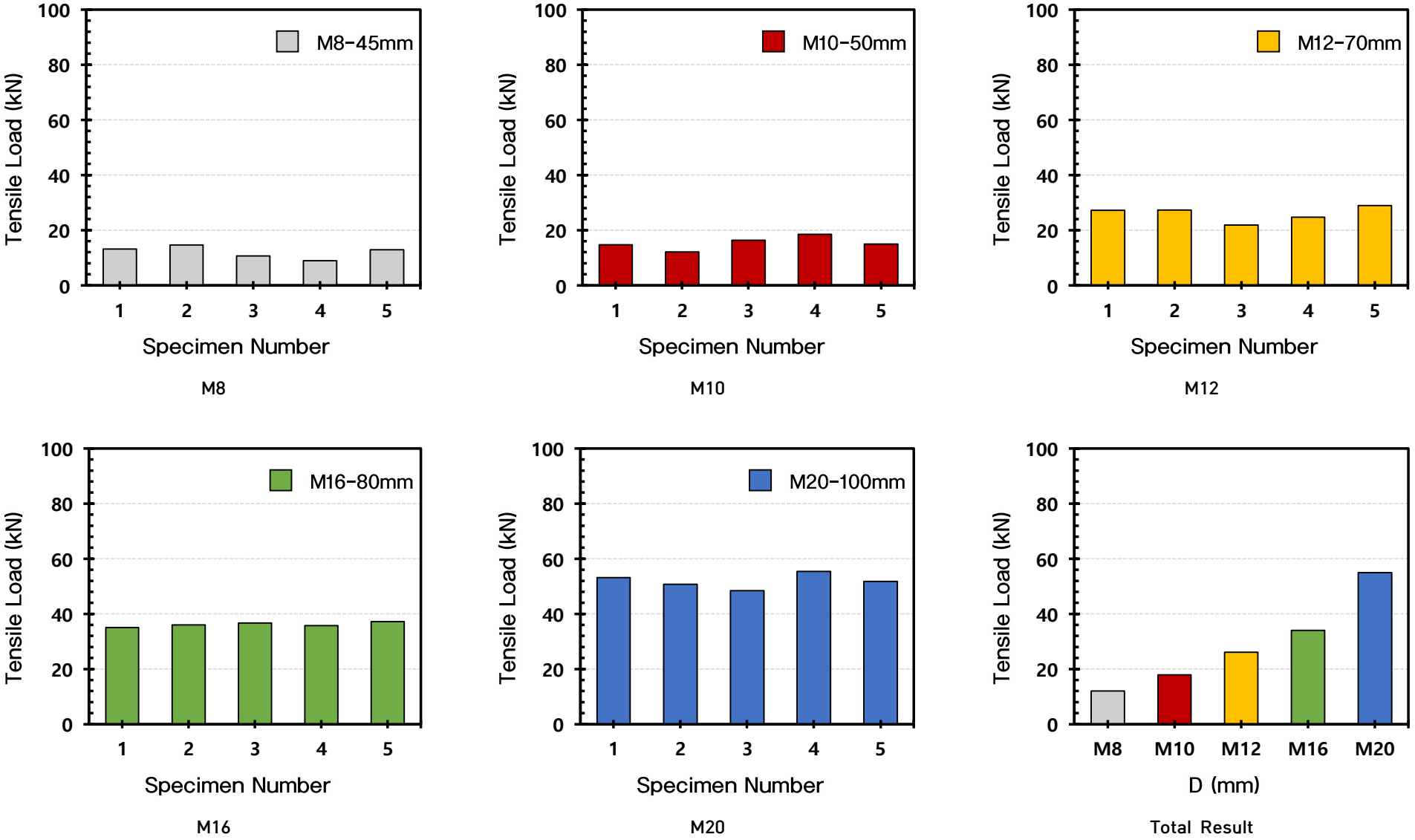
<표 2.9.18> 시험번호 ③ 인발시험결과

D(㎜)	N_{design}(kN)	N_{test}(kN)	Stdev	CoV(%)
M8	9.8	12.0	2.0	16.8
M10	14.9	15.3	2.1	13.7
M12	23.5	26.0	2.5	9.6
M16	35.6	36.1	0.7	2.0
M20	48.4	51.9	2.3	4.5

<표 2.9.19> 시험번호 ③ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값)

f_{ck}(MPa)	45	Test Number ③													
D(㎜)		8			10			12			16			20		
h_{ef}(㎜)		45			50			70			80			100		
Result		Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode
Specimen	1	13.1	13.9	CB	14.7	14.0	PF	27.2	14.5	CB	35.1	9.0	CB	53.1	21.3	CB
	2	14.6	9.3	PF	12.1	15.9	CB	27.3	11.3	CB	36.0	10.3	CB	50.7	26.7	CB
	3	10.6	9.1	CB	16.3	16.4	CB	21.8	13.5	CB	36.7	16.4	CB	48.4	19.9	CB
	4	8.9	0.1	PF	18.5	15.9	CB	24.7	22.3	CB	35.7	15.0	CB	55.4	20.7	CB
	5	12.9	0.2	CB	14.9	16.5	PF	28.9	18.3	CB	37.2	9.8	CB	51.7	23.5	CB
Average(kN)		12.0	6.5	-	15.3	15.7	-	26.0	16.0	-	36.1	12.1	-	51.9	22.4	-
Standard Deviation		2.0			2.1			2.5			0.7			2.3		
Coefficient of Variation(%)		16.8			13.7			9.6			2.0			4.5		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout



[그림 2.9.20] 시험번호 ③ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교)

- 시험번호 ④ (신뢰성시험 / 큰 앵커 구멍에 대한 민감도)

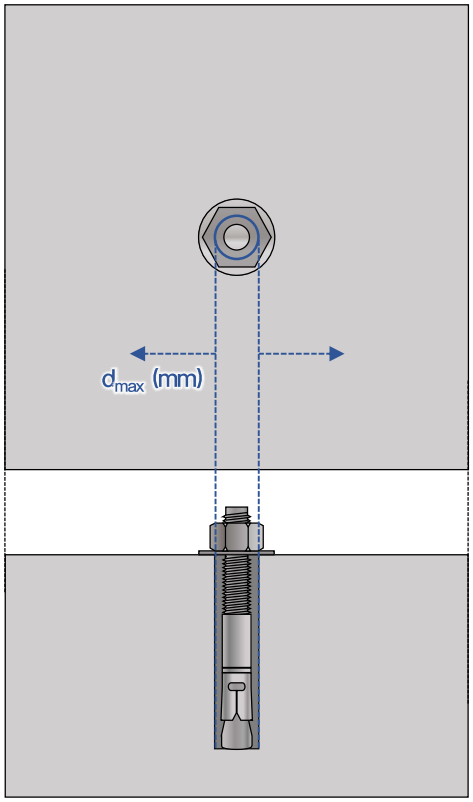
① 본 시험은 불리한 설치조건에서 설치된 앵커의 민감도를 검증하기 위한 시험으로, 각 직경별 앵커의 적정 드릴비트(d_m)보다 큰 드릴비트 사용하여 인발실험을 수행하였음. 본 시험은 비균열 저강도 콘크리트에서 수행하며, 드릴비트의 요구 지름은 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'에 제시된 드릴비트 요건을 따름.

② 비균열 저강도 콘크리트에서 큰 앵커 구멍에 대한 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 11.4 ~ 14.0%로 나타나 신뢰성시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음.

③ 본 시험의 경우, 기준시험(시험번호 ①) 대비 평균인발하중이 약 46 ~ 77% 정도로 낮게 나타났으며, 이는 앵커 설치 시 표준 구멍보다 더 크게 천공한 구멍의 영향으로 판단됨. 앵커 설치 후 홀 내부 슬리브는 한계치까지 확장되나, 한계치까지 확장이 되어도 천공홀과 콘크리트면 사이의 유격이 커 걸림력이 충분히 작용하지 않았기 때문에 내력이 저하된 것으로 판단됨. 하지만, 설계강도보다 높고, 대부분 파괴형상이 콘크리트 콘파괴로 나타나 큰 구멍을 가져도 앵커의 성능은 충분히 확보되었음을 확인하였음. <표 2.9.22>은 시험결과를 나타낸 것이고, [그림 2.9.23]은 각 직경별 앵커의 인발하중을 나타낸 것임.

M8	M10	M12	M16	M20
				

[그림 2.9.21] 큰 앵커 구멍 직경 측정



[그림 2.9.22] 큰 앵커 구멍 콘크리트

<표 2.9.20> 큰 앵커 구멍 직경 측정 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'

D(㎜)	M8	M10	M12	M16	M20
d_m	8.25 ~ 8.35	10.25 ~ 10.35	12.25 ~ 12.35	16.25 ~ 16.35	20.30 ~ 20.40
d_{max}	8.40 ~ 8.45	10.45 ~ 10.45	12.45 ~ 12.50	16.45 ~ 16.50	20.50 ~ 20.55
Test	8.42	10.44	12.47	16.52	20.54

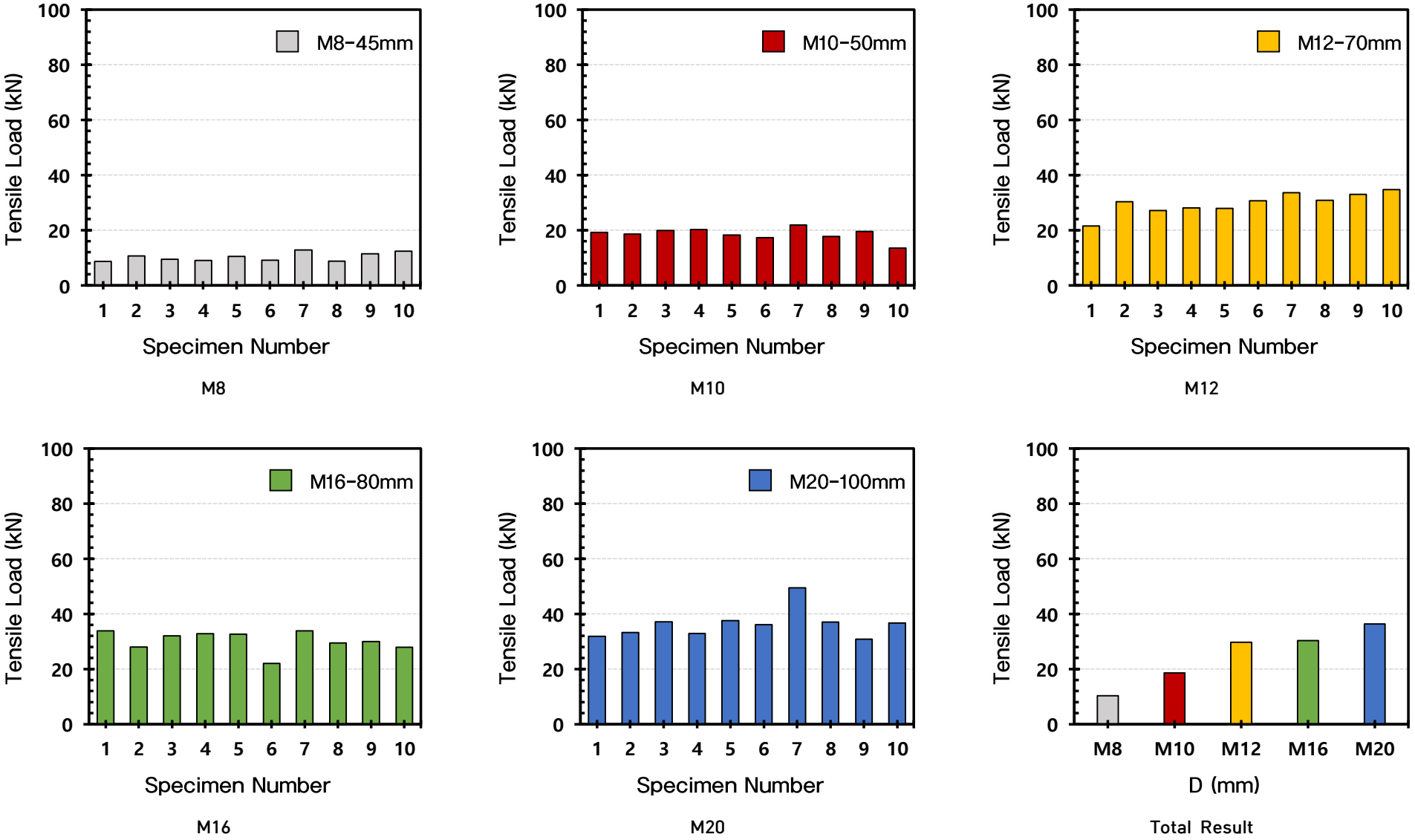
<표 2.9.21> 시험번호 ④ 인발시험결과

D(㎜)	N_{design}(kN)	N_{test}(kN)	Stdev	CoV(%)
M8	7.1	10.3	1.4	14.0
M10	10.8	18.6	2.1	11.4
M12	17.0	29.7	3.7	12.3
M16	25.8	30.2	3.5	11.5
M20	35.1	36.3	4.9	13.7

<표 2.9.22> 시험번호 ④ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값)

f_{ck}(MPa)	21	Test Number ④													
D(㎜)		8			10			12			16			20		
h_{ef}(㎜)		45			50			70			80			100		
d_{max}(㎜)		8.42			10.44			12.47			16.52			20.54		
Result		Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode
Specimen	1	8.7	21.3	PF	19.1	13.3	CB	21.4	6.5	PF	33.8	6.7	CB	31.9	11.1	CB
	2	10.6	13.4	SF	18.6	8.8	CB	30.3	7.5	CB	28.0	7.5	CB	33.2	5.9	CB
	3	9.5	8.0	CB	19.8	10.0	CB	27.1	5.2	CB	32.0	9.8	CB	37.1	13.8	CB
	4	9.0	8.2	PF	20.2	7.5	CB	28.0	7.1	CB	32.8	8.5	CB	32.9	12.7	CB
	5	10.5	5.8	CB	18.3	6.2	CB	27.8	11.5	CB	32.6	7.3	CB	37.6	11.9	CB
	6	9.1	19.1	CB	17.2	7.0	PF	30.6	8.5	CB	22.0	3.9	CB	36.1	15.8	CB
	7	12.8	4.4	CB	21.8	8.2	PF	33.5	7.9	CB	33.8	6.5	CB	49.4	9.1	CB
	8	8.8	12.6	CB	17.7	9.4	PF	30.8	1.9	CB	29.4	10.1	CB	37.0	23.1	CB
	9	11.5	7.8	CB	19.5	6.5	CB	33.0	6.5	CB	29.9	7.0	CB	30.8	2.0	CB
	10	12.3	7.2	CB	13.5	4.1	CB	34.7	7.9	CB	27.9	5.2	PF	36.7	13.4	CB
Average(kN)		10.3	10.8	-	18.6	8.1	-	29.7	7.0	-	30.2	7.2	-	36.3	11.9	-
Standard Deviation		1.4			2.1			3.7			3.5			4.9		
Coefficient of Variation(%)		14.0			11.4			12.3			11.5			13.7		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout



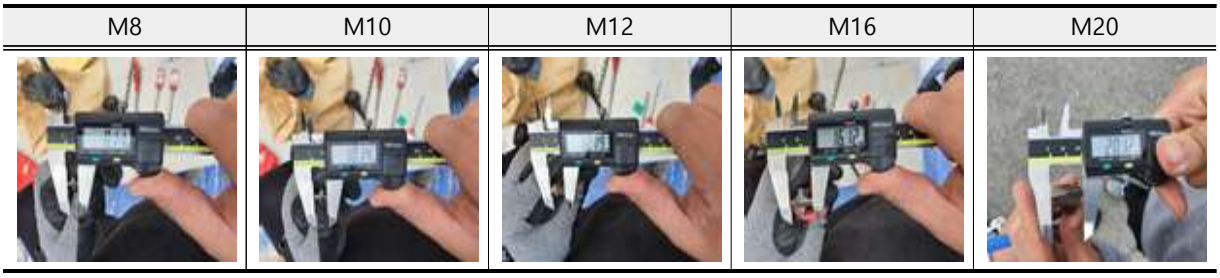
[그림 2.9.23] 시험번호 ④ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교)

- 시험번호 ⑤ (신뢰성시험 / 작은 앵커 구멍에 대한 민감도)

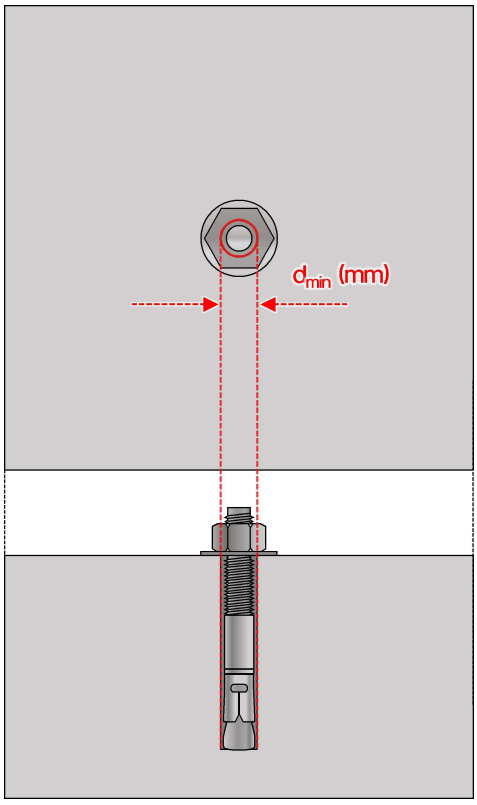
① 본 시험은 불리한 설치조건에서 설치된 앵커의 민감도를 검증하기 위한 시험으로, 각 직경별 앵커의 적정 드릴비트(d_m)보다 작은 드릴비트 사용하여 인발실험을 수행하였음. 본 시험은 비균열 고강도 콘크리트에서 수행하며, 드릴비트의 요구 지름은 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'에 제시된 드릴비트 요건을 따름.

② 비균열 고강도 콘크리트에서 작은 앵커 구멍에 대한 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 6.0 ~ 13.7%로 나타나 신뢰성시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음.

③ 본 시험의 경우, 기준시험(시험번호 ②) 대비 평균인발하중이 약 41 ~ 63% 정도로 낮게 나타났으며, 이는 앵커 설치 시 표준 구멍보다 더 작게 천공한 구멍의 영향으로 판단됨. 콘크리트와 앵커 사이의 유격이 작아짐에 따라 슬리브가 확장할 수 있는 공간이 적어 걸림력이 충분히 작용하지 않았기 때문에 내력이 저하된 것으로 판단됨. 하지만, 설계강도보다 높고, 대부분 파괴형상이 콘크리트 콘파괴로 나타나 작은 구멍을 가져도 앵커의 성능은 충분히 확보되었음을 확인하였음. <표 2.9.25>는 시험결과를 나타낸 것이고, [그림 2.9.26]은 각 직경별 앵커의 인발하중을 나타낸 것임.



[그림 2.9.24] 작은 앵커 구멍 직경 측정



[그림 2.9.25] 작은 앵커 구멍 콘크리트

<표 2.9.23> 작은 앵커 구멍 직경 측정 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'

D(㎜)	M8	M10	M12	M16	M20
d_m	8.25 ~ 8.35	10.25 ~ 10.35	12.25 ~ 12.35	16.25 ~ 16.35	20.30 ~ 20.40
d_{min}	8.05 ~ 8.20	10.10 ~ 10.20	12.10 ~ 12.20	16.10 ~ 16.20	20.10 ~ 20.20
Test	8.11	10.14	12.19	16.12	20.12

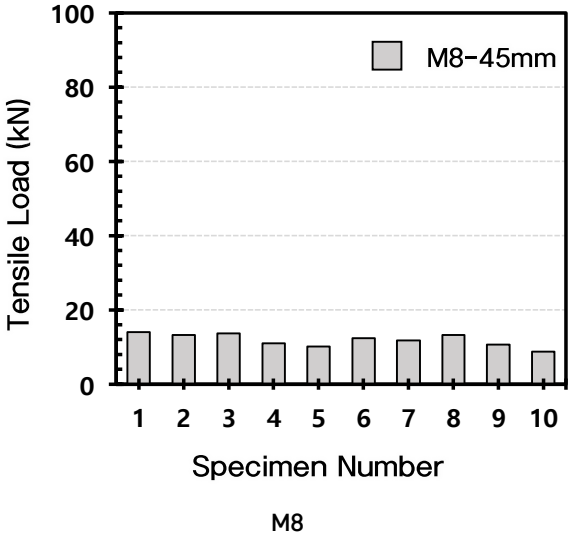
<표 2.9.24> 시험번호 ⑤ 인발시험결과

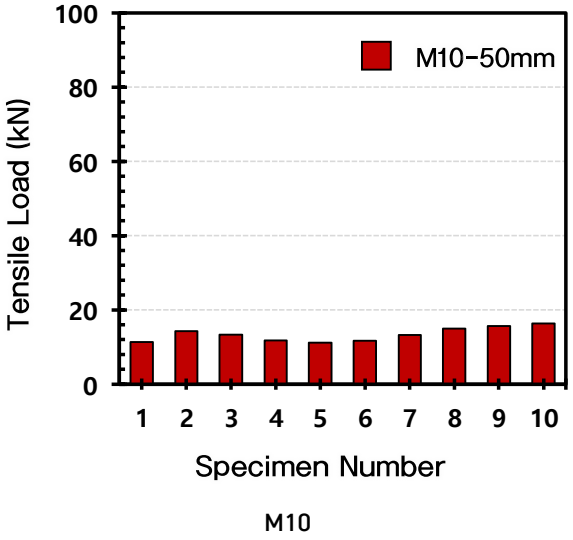
D(㎜)	N_{design}(kN)	N_{test}(kN)	Stdev	CoV(%)
M8	9.8	11.9	1.6	13.7
M10	14.9	13.4	1.8	13.4
M12	23.5	23.2	1.9	8.1
M16	35.6	35.1	2.1	6.0
M20	48.4	56.5	3.8	6.7

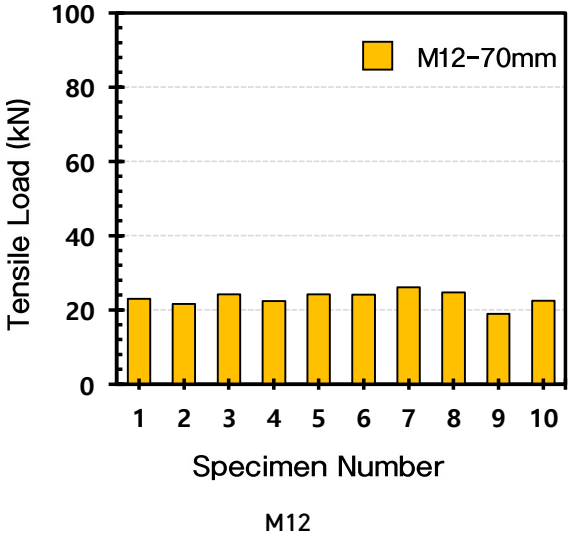
<표 2.9.25> 시험번호 ⑤ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값)

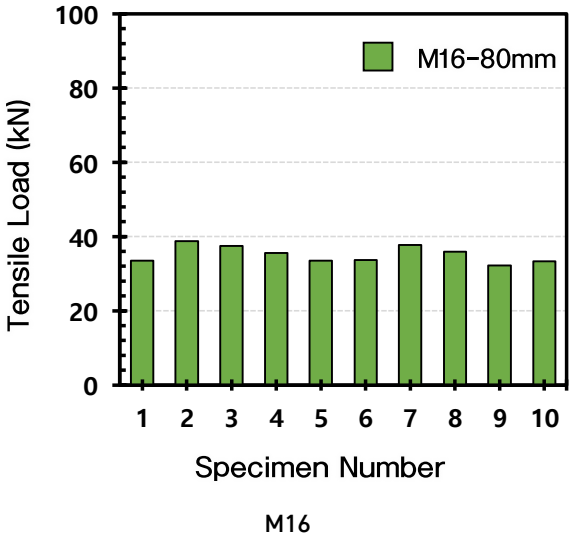
f_{ck}(MPa)	45	Test Number ⑤													
D(㎜)		8			10			12			16			20		
h_{ef}(㎜)		45			50			70			80			100		
d_{min}(㎜)		8.11			10.14			12.19			16.12			20.12		
Result		Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode
Specimen	1	14.0	2.6	CB	11.3	6.9	CB	23.0	6.5	PF	33.4	10.3	CB	54.3	9.7	CB
	2	13.2	12.0	CB	14.3	5.4	CB	21.6	4.7	PF	38.7	9.7	CB	56.9	16.4	CB
	3	13.6	8.9	PF	13.3	2.2	CB	24.2	6.9	PF	37.4	9.2	CB	55.0	11.8	CB
	4	11.0	8.5	PF	11.7	8.8	SF	22.4	13.1	PF	35.5	10.0	CB	63.2	18.2	CB
	5	10.1	2.8	PF	11.2	7.4	CB	24.2	7.5	CB	33.5	9.9	CB	53.2	16.9	CB
	6	12.3	2.3	CB	11.6	6.8	CB	24.1	5.7	PF	33.7	8.5	CB	52.5	15.0	CB
	7	11.8	7.1	PF	13.2	4.8	CB	26.1	9.9	PF	37.7	8.6	CB	54.0	14.1	CB
	8	13.2	11.6	CB	14.9	7.1	CB	24.7	9.7	PF	35.8	10.5	PF	63.8	17.2	CB
	9	10.6	9.9	CB	15.7	7.1	CB	18.9	16.5	CB	32.2	7.7	PF	54.6	13.8	CB
	10	8.8	4.1	CB	16.3	6.1	CB	22.5	9.9	CB	33.4	4.1	CB	57.5	15.4	CB
Average(kN)		11.9	7.0	-	13.4	6.3	-	23.2	9.0	-	35.1	8.9	-	56.5	14.9	-
Standard Deviation		1.6			1.8			1.9			2.1			3.8		
Coefficient of Variation(%)		13.7			13.4			8.1			6.0			6.7		

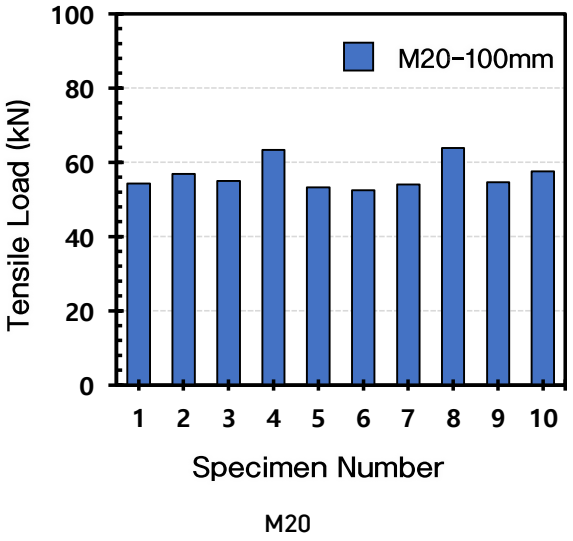
- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout

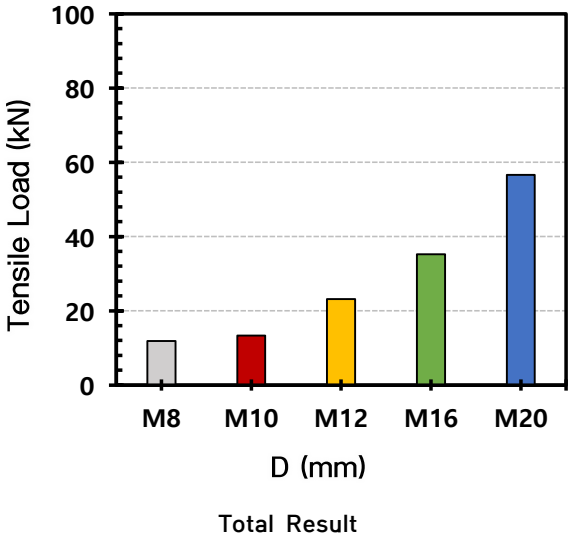












[그림 2.9.26] 시험번호 ⑤ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교)

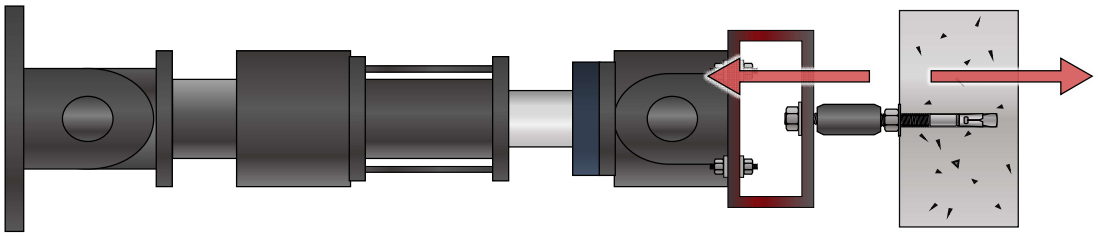
- 시험번호 ⑥ (신뢰성시험 / 반복하중을 받는 앵커)

① 본 시험은 설치된 앵커가 피로하중에 대하여 저항할 수 있는지 검증하기 위한 시험으로, 각 직경별 앵커에 반복하중을 가한 뒤 앵커가 정상적으로 거동하고 있는지 평가하였음. 반복하중시험이 종료된 후에는 잔류강도시험을 수행하여 앵커의 성능을 검토하였음.

② 본 시험의 경우, 각 직경별 앵커의 최대하중의 20% 정도의 지속하중 값을 적용하였고, 시험기준을 따라 앵커의 반복하중 횟수는 10^1, 10^2, 10^3, 10^4, 10^5 회로 하여 시험을 수행하였음.

③ 각 직경별 앵커의 반복하중시험결과, 각 직경별 앵커 대부분 10^3 이전까지는 폐쇄루프 곡선을 그리며 안정적인 탄성거동 형상을 나타내었음. 10^4부터 지속적인 하중 가력으로 인해 설치된 앵커와 설치홀에 슬립이 발생하면서 변위가 증가하였으나 미세하였음. 반복가력이 완료된 후 잔류강도를 평가하기 위한 인발시험을 수행하였고, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 4.0 ~ 12.0%로 나타나 신뢰성시험의 극한 인장하중 변동계수 허용기준인 20% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음.

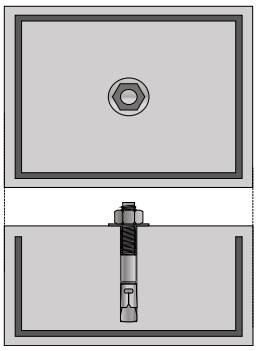
④ 각 직경별 앵커의 평균인발하중은 기준시험의 평균인발하중 대비 약 83 ~ 89% 정도로 나타나 기준시험의 결과보다 다소 부족한 성능을 나타냈지만, 설계강도 대비 약 185 ~ 211%로 높게 나타나 앵커가 피로상태여도 앵커의 성능은 충분히 확보됨을 알 수 있었음. <표 2.9.27>는 잔류강도 시험 결과를 나타낸 것이고, [그림 2.9.29] ~ [그림 2.9.33]는 각 직경별 앵커의 반복가력 하중-변위곡선, [그림 2.9.34]는 잔류강도 인발하중을 나타낸 것임.

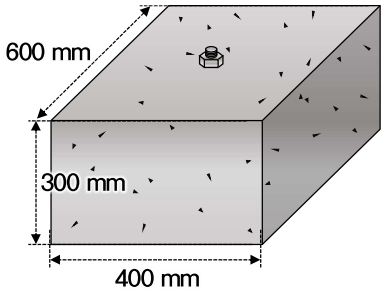


[그림 2.9.27] 반복가력시험 Set-up



[그림 2.9.28] 반복가력시험 Set-up 현황





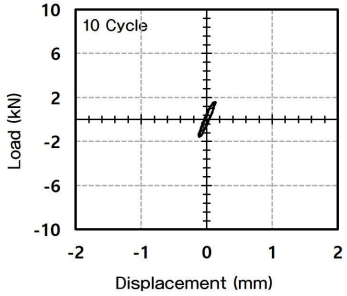
<표 2.9.26> 반복하중시험결과

D(㎜)	N_{test}(kN)	$N_{test20\%}$(kN)	$N_{residual,avg}$(kN)	Stdev	CoV(%)
M8	16.5	3.3	14.6	1.6	11.0
M10	24.2	4.8	20.0	0.8	4.0
M12	41.7	8.4	35.8	3.2	9.1
M16	59.5	11.9	50.5	6.1	12.0
M20	79.5	15.9	67.6	3.5	5.2

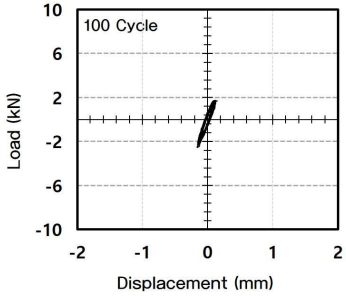
<표 2.9.27> 시험번호 ⑥ 시험결과 (각 직경별 앵커의 잔류강도 시험결과 값)

f_{ck}(MPa)	21	Test Number ⑥													
D(㎜)		8			10			12			16			20		
h_{ef}(㎜)		45			50			70			80			100		
Result		Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode
Specimen	1	17.7	3.0	CB	20.9	2.8	CB	32.6	8.2	CB	55.0	8.8	CB	62.5	8.1	CB
	2	13.2	3.3	PF	20.7	6.9	CB	36.3	7.8	PF	58.6	8.9	CB	68.2	9.4	CB
	3	14.4	3.4	CB	19.0	4.2	CB	33.5	12.9	CB	51.6	4.0	CB	66.1	6.2	CB
	4	14.5	7.8	CB	19.1	5.6	CB	41.8	8.6	CB	45.5	4.7	CB	73.3	9.2	CB
	5	13.4	1.7	CB	20.3	3.7	CB	34.9	9.1	CB	42.0	6.2	PF	67.8	10.3	CB
Average(kN)		14.6	3.8	-	20.0	4.6	-	35.8	9.3	-	50.5	6.5	-	67.6	8.6	-
Standard Deviation		1.6			0.8			3.2			6.1			3.5		
Coefficient of Variation(%)		11.0			4.0			9.1			12.0			5.2		

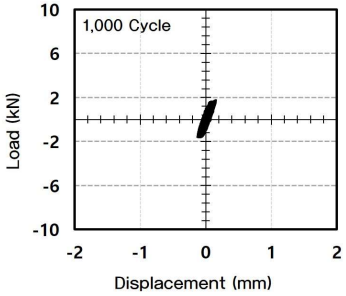
- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout



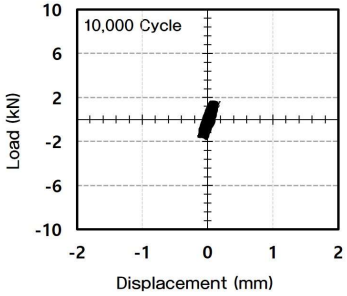
10회



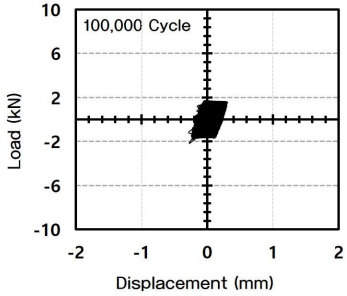
100회



1,000회

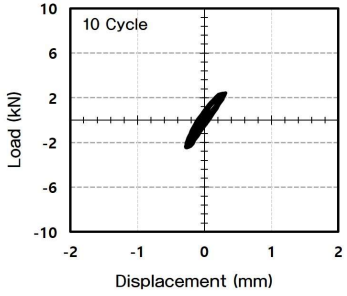


10,000회

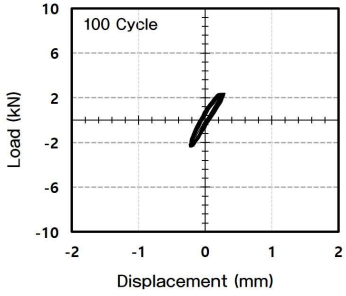


100,000회

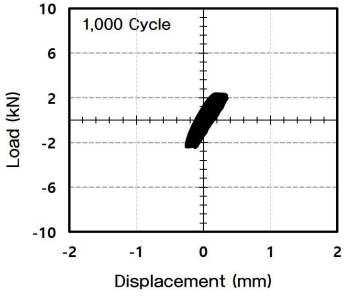
[그림 2.9.29] 시험번호 ⑥ 시험결과 (M8)



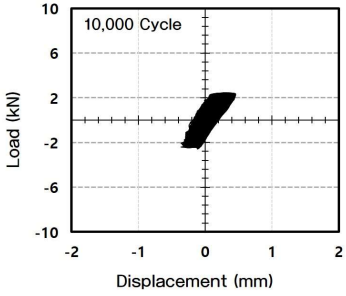
10회



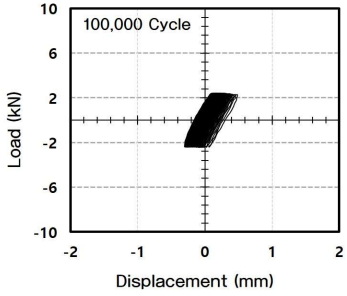
100회



1,000회

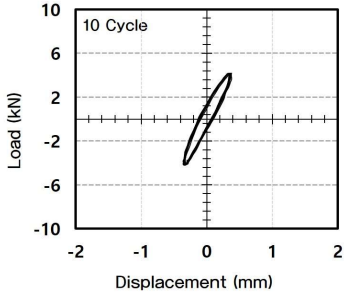


10,000회

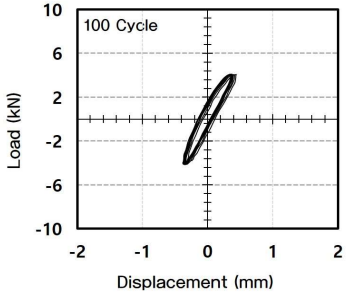


100,000회

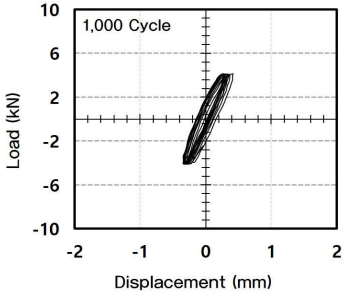
[그림 2.9.30] 시험번호 ⑥ 시험결과 (M10)



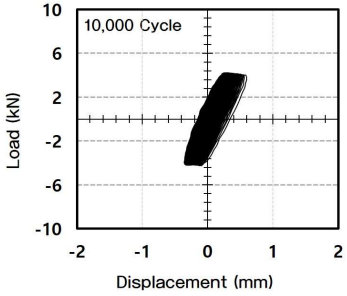
10회



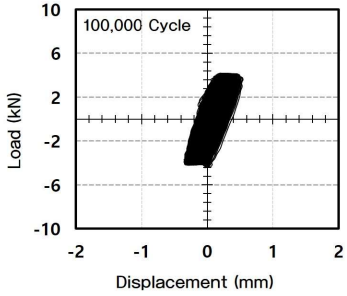
100회



1,000회

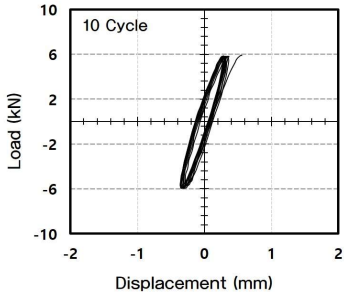


10,000회

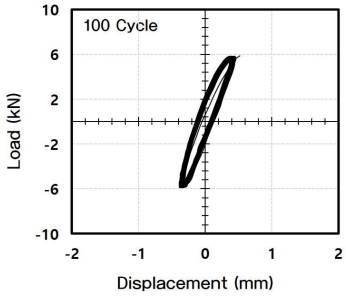


100,000회

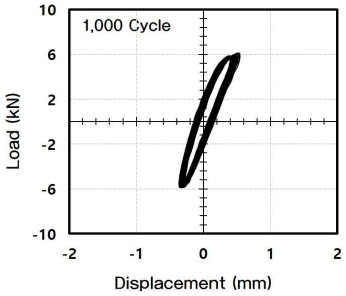
[그림 2.9.31] 시험번호 ⑥ 시험결과 (M12)



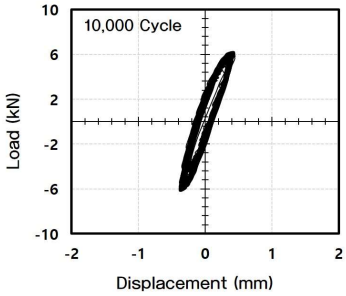
10회



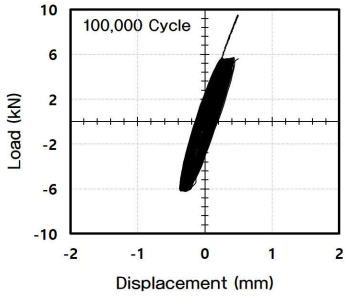
100회



1,000회

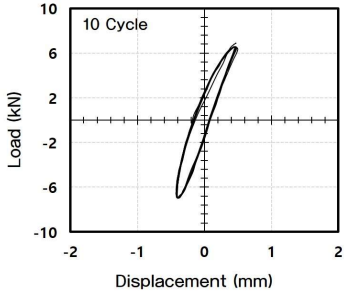


10,000회

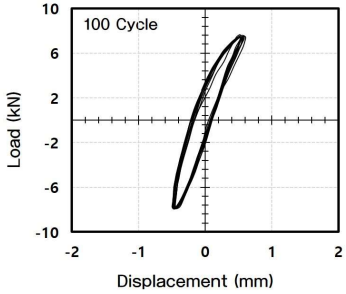


100,000회

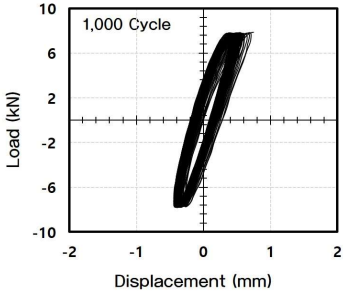
[그림 2.9.32] 시험번호 ⑥ 시험결과 (M16)



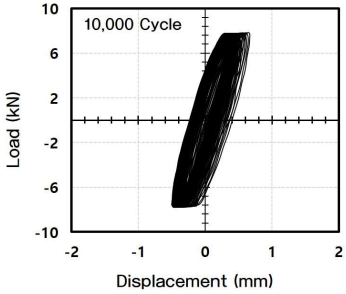
10회



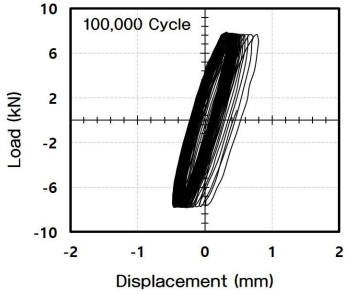
100회



1,000회

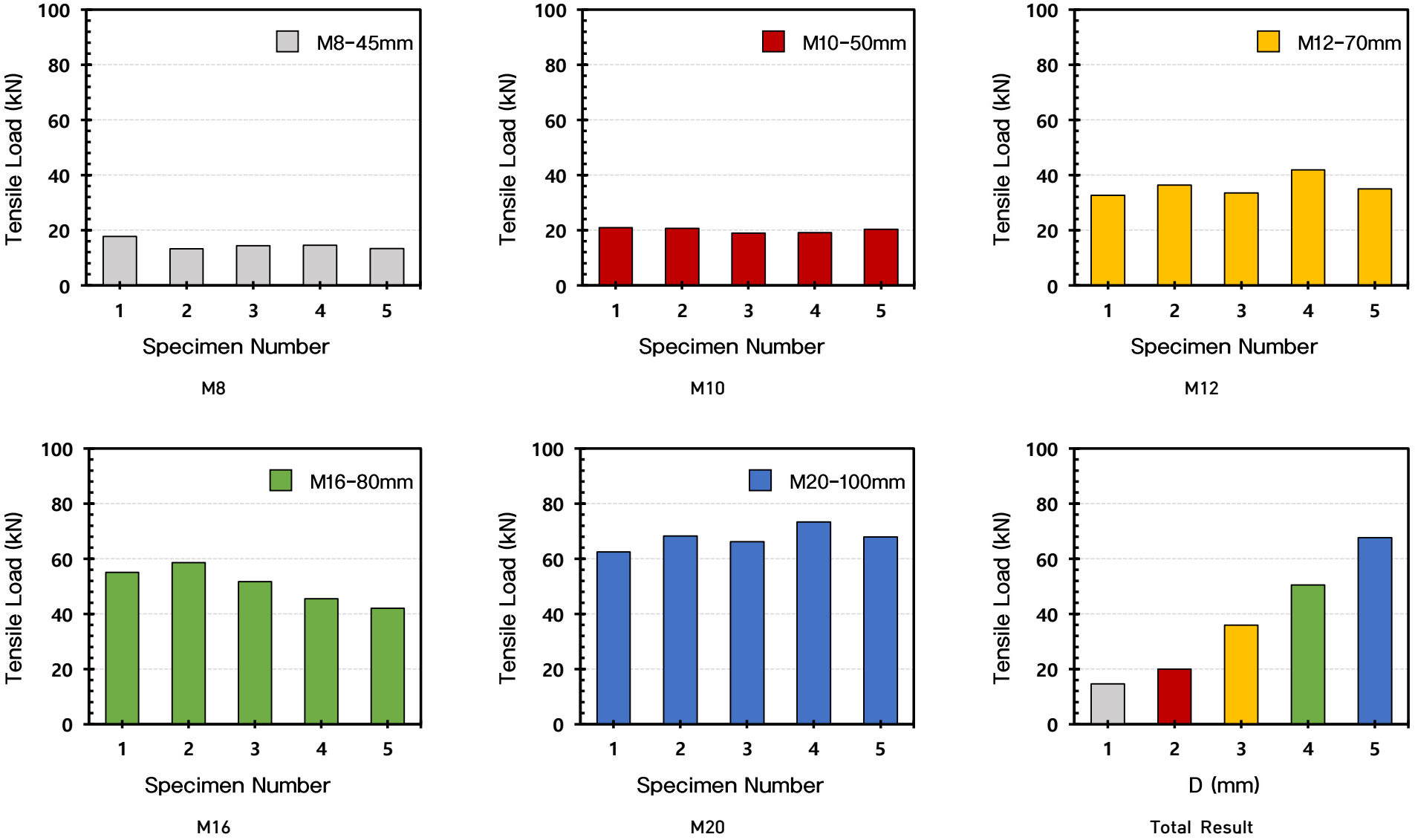


10,000회



100,000회

[그림 2.9.33] 시험번호 ⑥ 시험결과 (M20)



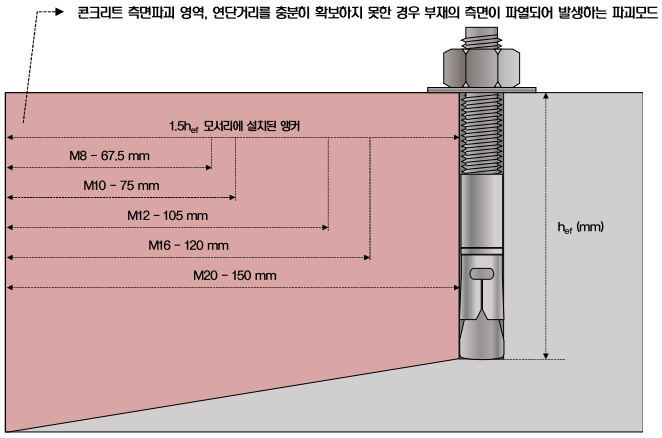
[그림 2.9.34] 시험번호 ⑥ 시험결과 (각 직경별 앵커 잔류강도 비교)

- 시험번호 ⑦ (사용조건시험 / 연단거리 $1.5h_{ef}$에 설치된 앵커)

① 본 시험은 연단거리 $1.5h_{ef}$에 설치된 앵커가 가장자리의 영향이 없는 상태(인장-연단거리 영향을 받지 않는 앵커)와 동등한 성능을 확보하고 있는지 검증하는 시험으로, 모서리에 설치된 앵커의 인발시험을 수행하였음.

② 비균열 저강도 콘크리트에서 모서리에 설치된 앵커의 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 2.0 ~ 10.0%로 나타났음. 사용조건시험의 경우, 앵커의 사용성을 평가하기 위한 변동계수 허용기준은 없으나 기준시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 15% 이내 값을 가지고 있어 앵커를 사용하는데 문제가 없을 것으로 판단됨.

③ 본 시험의 경우, 기준시험(시험번호 ①) 대비 평균인발하중이 약 87% ~ 96% 정도로 낮게 나타났음. 비틀림 제어 확장앵커의 경우, 설계 시 콘크리트 파괴 및 뽑힘강도를 확보하기 위해 $1.5h_{ef}$보다 더 큰 연단거리를 가져야하는데 본 시험에 사용된 앵커는 $1.5h_{ef}$이상의 연단거리를 가지지 못하여 기준시험과 동등한 성능을 확보하지 못한 것으로 판단됨. 그러나, 앵커의 최종 파괴형상이 대부분 콘크리트 콘파괴로 충분한 걸림력이 작용하였고, 콘크리트 콘파괴에 대한 설계강도보다 높은 성능을 나타내어 연단거리 $1.5h_{ef}$에 설치된 앵커를 사용하는데 문제가 없을 것으로 판단됨. <표 2.9.29> ~ <표 2.9.30>은 시험결과를 나타낸 것이고, [그림 2.9.37]는 각 직경별 앵커의 인발하중을 나타낸 것임.



[그림 2.9.35] 연단거리 $1.5h_{ef}$를 갖는 모서리 시험의 파괴모드

<표 2.9.28> 모서리 시험결과

D(㎜)	h_{ef}(㎜)	$1.5h_{ef}$(㎜)	$C_{min,avg}$(㎜)	N_{design}(kN)	N_{test}(kN)	Stdev	CoV(%)
M8	45	67.5	65.4	7.1	14.9	1.5	10.0
M10	50	75	75.3	10.8	22.0	1.7	7.5
M12	70	105	105.4	17.0	40.2	1.7	4.3
M16	80	120	120.4	25.8	53.3	2.6	4.9
M20	100	150	149.2	35.1	69.4	1.4	2.0



M8	M10	M12	M16	M20

[그림 2.9.36] 모서리에서의 후설치 앵커 최종파괴형상

<표 2.9.29> 시험번호 ⑦ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값)

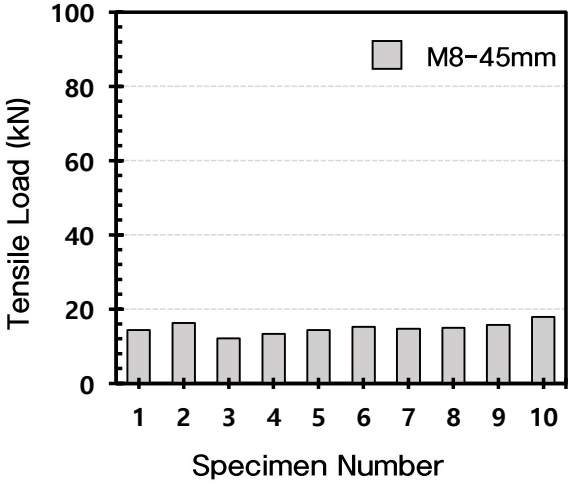
f_{ck}(MPa)	21	Test Number ⑦											
D(㎜)		8				10				12			
h_{ef}(㎜)		45				50				70			
Result		C_{min}(㎜)	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	C_{min}(㎜)	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	C_{min}(㎜)	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode
Specimen	1	68.1	14.4	10.2	SFB	78.6	19.9	8.3	SFB	103.4	41.5	10.5	SFB
	2	64.8	16.2	12.7	SFB	75.0	24.5	10.1	SFB	105.4	42.8	6.3	SFB
	3	65.4	12.1	18.0	SFB	74.4	21.2	20.5	SFB	103.6	38.6	18.6	SFB
	4	66.9	13.3	7.3	SFB	75.2	23.6	19.3	SFB	108.9	41.8	13.1	SFB
	5	63.5	14.4	9.8	SFB	74.7	22.8	10.4	SFB	106.8	41.1	13.6	SFB
	6	63.6	15.2	9.6	SFB	74.9	24.3	5.1	SFB	105.4	40.1	16.0	SFB
	7	64.8	14.7	10.1	SFB	77.7	21.8	29.4	SFB	106.1	39.4	10.5	SFB
	8	64.1	15.0	10.0	SFB	73.1	20.8	13.9	SFB	103.9	36.8	12.8	SFB
	9	68.3	15.7	9.0	SFB	74.7	19.6	26.4	SFB	105.6	38.7	22.2	SFB
	10	64.1	17.9	2.3	SFB	75.0	21.5	9.0	SFB	105.3	41.4	13.4	SFB
Average(kN)		65.4	14.9	9.9	-	75.3	22.0	15.2	-	105.4	40.2	13.7	-
Standard Deviation		1.5				1.7				1.7			
Coefficient of Variation(%)		10.0				7.5				4.3			

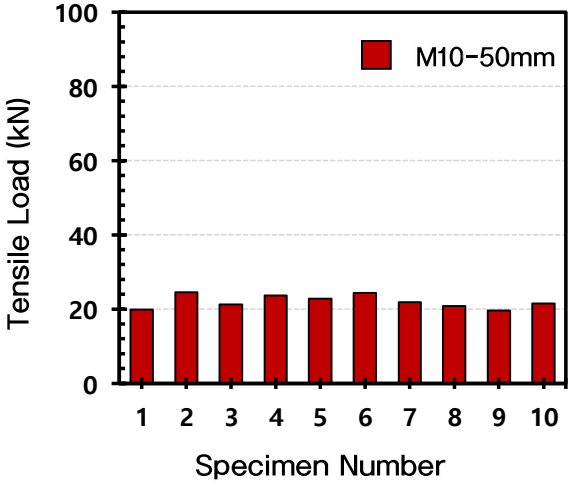
- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout

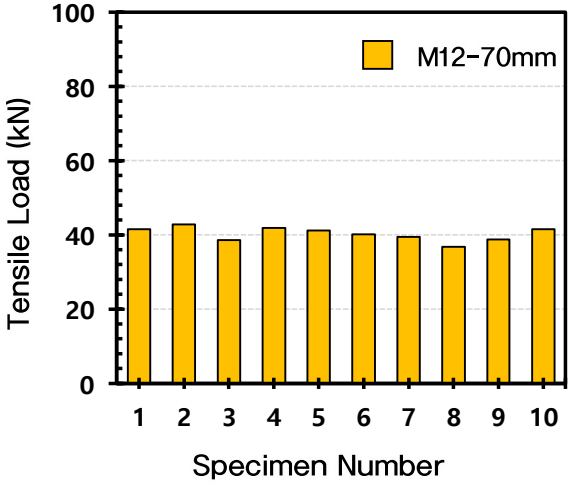
<표 2.9.30> 시험번호 ⑦ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값)

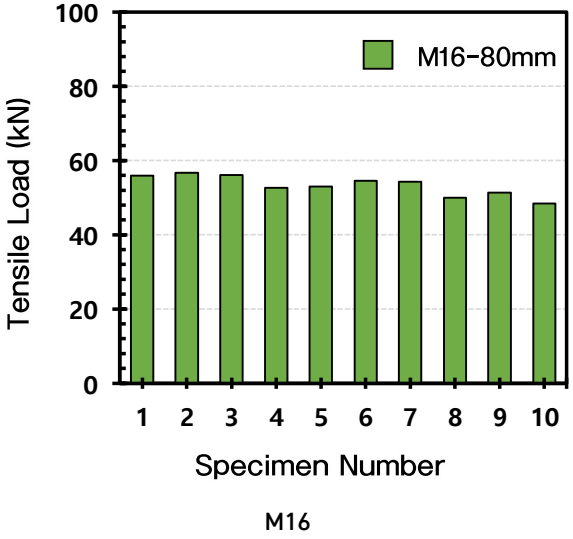
f_{ck}(MPa)	21	Test Number ⑦							
D(㎜)		16				20			
h_{ef}(㎜)		80				100			
Result		C_{min}(㎜)	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	C_{min}(㎜)	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode
Specimen	1	120.0	55.9	10.5	SFB	145.3	69.5	13.3	SFB
	2	119.4	56.6	18.1	SFB	148.9	68.7	37.4	SFB
	3	122.5	56.1	15.1	SFB	150.1	71.4	27.9	SFB
	4	124.4	52.7	13.6	SFB	149.7	69.2	17.5	SFB
	5	120.6	53.0	15.6	SFB	152.1	68.8	14.8	SFB
	6	124.2	54.5	14.2	SFB	148.3	72.2	13.2	SFB
	7	116.9	54.2	9.8	SFB	146.7	67.1	15.5	SFB
	8	118.3	50.0	17.6	SFB	147.7	69.6	17.6	SFB
	9	116.5	51.3	31.5	SFB	153.5	69.5	16.7	SFB
	10	121.1	48.4	9.0	SFB	149.2	68.1	15.3	SFB
Average(kN)		120.4	53.3	15.5	-	149.2	69.4	18.9	-
Standard Deviation		2.6				1.4			
Coefficient of Variation(%)		4.9				2.0			

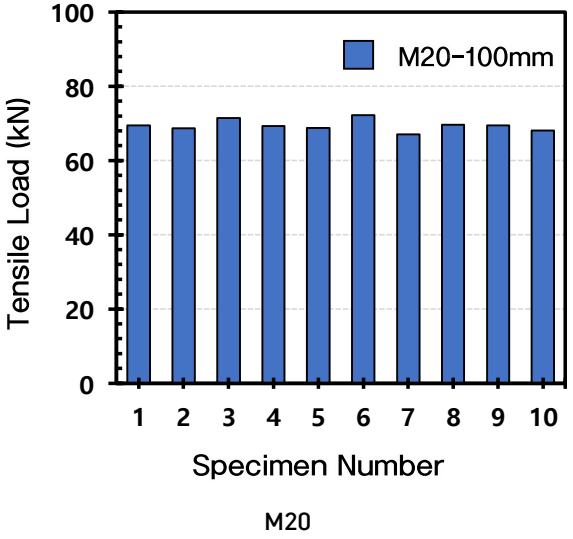
- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout

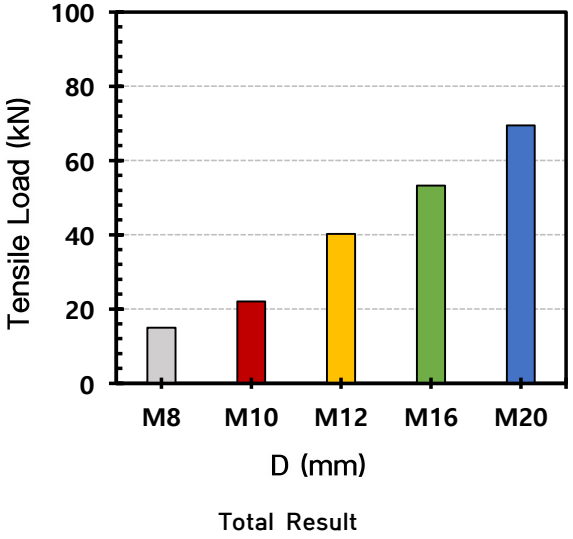












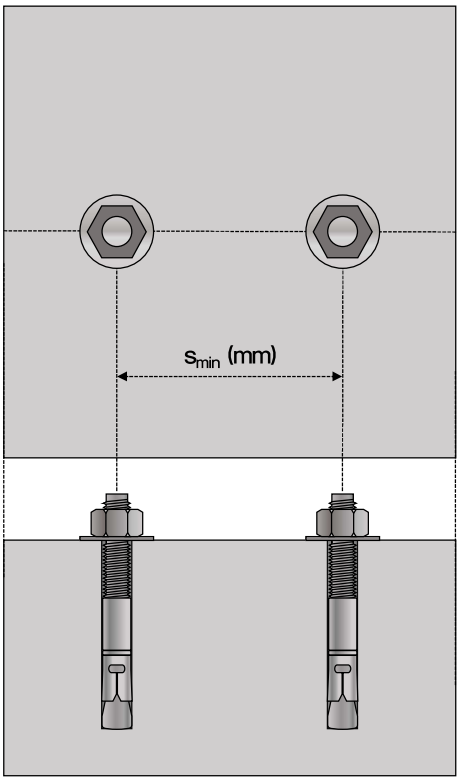
[그림 2.9.37] 시험번호 ⑦ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교)

- 시험번호 ⑧ (사용조건시험 / 최소간격으로 설치된 앵커)

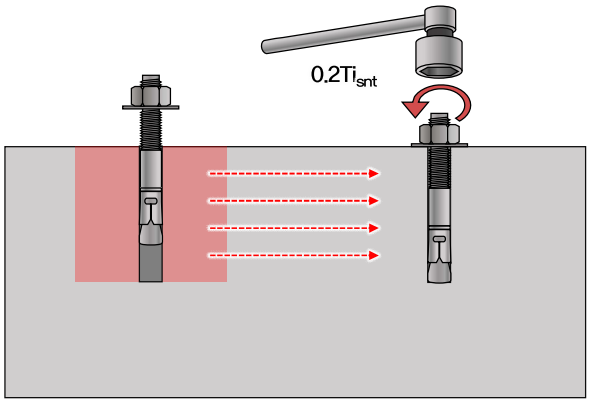
① 본 시험은 연단거리 앵커가 최소간격으로 설치되었을 때, 설치 시 앵커 간에 콘크리트 쪼개짐이 발생하지 않는 것을 검증하기 위한 시험으로, 최소설치간격에 대한 3가지 변수를 계획하였고 두 개의 앵커를 설치 및 인발시험을 통해 앵커의 사용성을 평가하였음.

② 본 시험의 경우, 실험변수는 각 직경별 앵커의 $1.0h_{ef}$, $1.3h_{ef}$, $1.5h_{ef}$를 앵커의 최소설치간격으로 계획하였음. 시험기준을 따라 두 개의 앵커를 설치하고, $1.7T_{isnt}$의 비틀림력에 이를 때까지 번갈아가면서 각 앵커에 $0.2T_{isnt}$씩 가력함. 비틀림력을 가하는 과정에서 앵커 사이에 쪼개짐이나 콘크리트 균열이 발생하는지 검토하여야 함.

③ 본 시험의 경우, 각 직경별 앵커 모두 앵커를 설치하고 $1.7T_{isnt}$의 비틀림력에 이를 때 까지 시험을 수행한 결과 앵커 간에 콘크리트 쪼개짐이나 육안으로 확인되는 앵커의 파괴모드는 발견되지 않았음. 이후 최소간격으로 설치된 두 개의 앵커에 대하여 인발시험을 수행한 결과, 첫 번째 인발한 앵커보다 두 번째 인발한 앵커의 내력이 감소된 것을 확인할 수 있었음. 이는 앵커의 설치 간격이 좁을수록 인발 시 앵커가 콘크리트에 저항하는 면적이 다른 앵커에 중첩되어 앵커의 지지력에 영향을 미치는 것으로 판단됨. 하지만, 각 직경별 앵커의 모든 평균인발하중이 설계강도보다 높게 나타나 $1.0h_{ef}$, $1.3h_{ef}$, $1.5h_{ef}$의 설치간격을 가져도 앵커의 성능은 충분히 확보되었음을 확인하였음. <표 2.9.33> ~ <표 2.9.37>는 시험결과를 나타낸 것이고, [그림 2.9.40] ~ [그림 2.9.44]은 각 직경별 앵커의 인발하중을 나타낸 것임.



[그림 2.9.38] 최소 간격으로 설치된 앵커 시험



[그림 2.9.39] 최소 간격으로 설치된 후설치 앵커 하중 작용

<표 2.9.31> 앵커 설치간격 산정

D(㎜)	$1.0h_{ef}$	$1.3h_{ef}$	$1.5h_{ef}$
M8	45	58.5	67.5
M10	50	65	75
M12	70	91	105
M16	80	104	120
M20	100	130	150

<표 2.9.32> 최소 간격으로 설치된 앵커의 비틀림력 산정

D(㎜)	M8	M10	M12	M16	M20
T_{isnt}(N·m)	15	30	50	100	200
$0.2T_{isnt}$(N·m)	3	6	10	20	40
$1.7T_{isnt}$(N·m)	25.5	5.1	85	170	340

<표 2.9.33> 시험번호 ⑧ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값)

f_{ck}(MPa)	21	Test Number ⑧																	
D(㎜)		8																	
Variable		$1.0h_{ef}$						$1.3h_{ef}$						$1.5h_{ef}$					
		S_{min}(㎜)			45			S_{min}(㎜)			58.5			S_{min}(㎜)			67.5		
		1			2			1			2			1			2		
Result		Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode
Specimen	1	10.8	12.7	CB	8.3	9.9	PF	15.5	10.5	CB	10.2	1.1	CB	16.4	11.0	CB	11.8	7.2	PF
	2	15.5	7.8	CB	10.0	5.5	PF	14.9	3.7	CB	11.6	11.6	CB	17.8	19.4	CB	10.7	1.9	PF
	3	10.4	8.9	CB	7.9	4.2	CB	12.3	8.7	CB	11.0	7.0	PF	18.5	19.5	CB	15.4	6.8	CB
	4	11.6	10.1	CB	11.5	7.0	CB	12.3	11.7	CB	10.9	7.9	PF	16.7	2.1	CB	13.1	24.8	CB
	5	15.7	10.0	CB	11.1	8.8	CB	15.7	5.7	CB	11.2	7.6	CB	16.1	8.6	CB	13.6	6.9	CB
	6	14.9	8.0	CB	12.6	8.6	CB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	14.7	11.0	PF	10.3	5.8	PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	15.4	8.8	CB	8.1	1.7	PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	9	13.9	13.0	CB	10.7	4.6	PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	12.6	13.0	CB	10.5	9.1	CB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average(kN)		13.6	10.3	-	10.1	6.5	-	14.1	8.1	-	11.0	7.0	-	17.1	12.1	-	12.9	9.5	-
Standard Deviation		1.9			1.5			1.5			0.5			0.9			1.6		
Coefficient of Variation(%)		14.2			14.6			10.7			4.2			5.3			12.4		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout

<표 2.9.34> 시험번호 ⑧ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값)

f_{ck}(MPa)	21	Test Number ⑧																	
D(㎜)		10																	
Variable		$1.0h_{ef}$						$1.3h_{ef}$						$1.5h_{ef}$					
		S_{min}(㎜)			50			S_{min}(㎜)			65			S_{min}(㎜)			75		
		1			2			1			2			1			2		
Result		Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode
Specimen	1	10.3	1.7	PF	10.7	2.9	PF	13.2	8.5	PF	14.3	10.1	CB	18.1	10.5	CB	14.1	12.6	CB
	2	10.9	7.3	PF	10.2	6.1	PF	15.4	5.6	CB	13.0	8.1	CB	21.8	17.7	CB	14.1	9.8	PF
	3	12.4	5.9	PF	11.1	7.5	PF	13.1	32.5	CB	12.7	15.1	CB	19.1	16.2	CB	12.7	31.3	PF
	4	10.6	8.4	PF	9.3	5.9	PF	14.4	5.3	CB	12.1	19.9	CB	15.5	20.5	PF	15.0	22.6	PF
	5	12.8	9.3	CB	12.9	5.2	CB	15.6	26.5	CB	10.3	5.4	PF	20.4	11.9	CB	18.3	10.1	CB
	6	13.4	8.0	CB	13.1	5.7	PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	12.4	4.3	PF	10.5	5.1	PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	11.8	12.2	PF	12.1	5.9	PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	9	15.8	7.4	PF	15.2	5.7	PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	15.2	10.3	PF	13.3	8.5	PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average(kN)		12.6	7.5	-	11.8	5.9	-	14.4	15.7	-	12.5	11.7	-	19.0	15.4	-	14.8	17.3	-
Standard Deviation		1.7			1.7			1.1			1.3			2.1			1.9		
Coefficient of Variation(%)		13.9			14.4			7.4			10.6			11.2			12.7		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout

<표 2.9.35> 시험번호 ⑧ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값)

f_{ck}(MPa)	21	Test Number ⑧																	
D(㎜)		12																	
Variable		$1.0h_{ef}$						$1.3h_{ef}$						$1.5h_{ef}$					
		S_{min}(㎜)			70			S_{min}(㎜)			91			S_{min}(㎜)			105		
		1			2			1			2			1			2		
Result		Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode
Specimen	1	34.2	12.4	PF	28.8	7.7	PF	36.2	10.3	CB	36.4	27.6	CB	37.2	5.3	CB	31.2	3.5	CB
	2	35.9	3.4	CB	36.8	2.6	CB	35.2	13.5	CB	31.7	7.9	CB	40.9	5.0	CB	43.2	5.8	CB
	3	29.8	8.8	CB	31.2	7.4	CB	35.0	11.0	CB	31.7	5.8	CB	35.6	5.1	CB	39.5	2.9	PF
	4	31.2	7.8	PF	28.8	11.4	PF	35.3	12.3	CB	34.5	10.2	CB	39.7	3.9	CB	39.4	7.2	CB
	5	29.7	10.2	CB	22.5	7.0	CB	35.0	0.6	CB	33.6	10.6	PF	33.6	4.9	CB	36.0	6.0	CB
	6	36.8	7.6	CB	35.1	21.8	CB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	26.1	8.1	CB	32.1	6.7	CB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	40.1	18.0	CB	36.0	6.0	CB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	9	41.6	7.8	CB	28.6	2.6	CB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	35.2	14.5	CB	27.8	11.4	PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average(kN)		34.1	9.9	-	30.8	8.5	-	35.3	9.5	-	33.6	12.4	-	37.4	4.8	-	37.9	5.1	-
Standard Deviation		4.6			4.2			0.5			1.8			2.7			4.1		
Coefficient of Variation(%)		13.6			13.6			1.3			5.3			7.1			10.7		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout

<표 2.9.36> 시험번호 ⑧ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값)

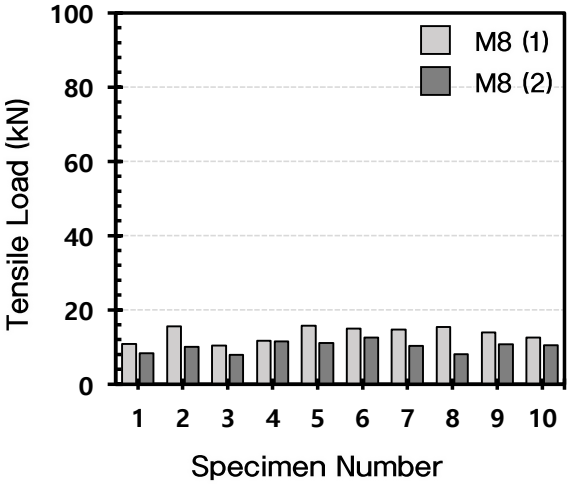
f_{ck}(MPa)	21	Test Number ⑧																	
D(㎜)		16																	
Variable		$1.0h_{ef}$						$1.3h_{ef}$						$1.5h_{ef}$					
		S_{min}(㎜)			80			S_{min}(㎜)			104			S_{min}(㎜)			120		
		1			2			1			2			1			2		
Result		Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode
Specimen	1	35.6	19.7	CB	40.1	13.3	CB	38.7	13.1	CB	33.4	8.5	CB	47.9	9.1	CB	45.0	43.2	CB
	2	40.9	12.8	CB	30.3	7.8	CB	40.2	6.4	CB	36.1	35.8	CB	54.6	7.2	CB	46.9	12.9	PF
	3	42.3	14.3	CB	25.8	8.3	CB	39.8	16.8	CB	32.5	12.2	PF	53.2	5.8	CB	48.8	12.8	CB
	4	40.2	10.9	CB	38.4	14.1	CB	44.8	34.9	CB	39.8	10.7	PF	52.9	10.2	CB	45.4	6.8	CB
	5	45.6	12.9	CB	37.7	7.7	CB	53.6	15.3	CB	42.1	31.9	PF	50.9	11.1	CB	42.1	8.7	PF
	6	39.5	15.5	CB	42.5	10.4	CB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	43.6	10.8	CB	35.7	7.0	CB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	45.6	20.2	CB	38.9	13.6	CB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	9	52.7	18.1	CB	29.4	17.7	CB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	50.6	22.6	CB	34.0	16.8	PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average(kN)		43.7	15.8	-	35.3	11.7	-	43.4	17.3	-	36.8	19.8	-	51.9	8.7	-	45.6	16.9	-
Standard Deviation		4.9			5.1			5.5			3.7			2.3			2.2		
Coefficient of Variation(%)		11.2			14.3			12.6			10.0			4.5			4.9		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout

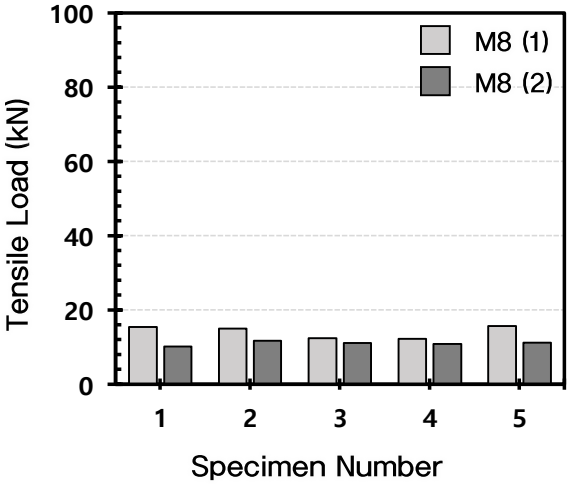
<표 2.9.37> 시험번호 ⑧ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값)

f_{ck}(MPa)	21	Test Number ⑧																
D(㎜)		20																
Variable		$1.0h_{ef}$						$1.3h_{ef}$						$1.5h_{ef}$				
		S_{min}(㎜)			100			S_{min}(㎜)			130			S_{min}(㎜)			150		
		1			2			1			2			1			2		
Result		Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode
Specimen	1	62.7	18.1	CB	42.2	10.4	CB	63.1	31.3	CB	52.9	11.5	CB	67.6	16.0	CB	53.4	10.6	CB
	2	64.0	22.6	CB	49.0	11.5	CB	65.3	12.0	CB	53.4	5.4	CB	59.3	16.1	CB	62.1	16.0	CB
	3	59.6	15.2	CB	45.9	15.8	CB	68.8	33.7	CB	61.7	4.1	CB	75.1	19.7	CB	60.5	15.3	CB
	4	64.6	24.2	CB	42.6	24.4	CB	63.4	20.7	CB	52.8	14.0	CB	70.9	15.3	CB	56.7	19.8	CB
	5	69.2	25.9	CB	41.9	7.3	CB	63.7	12.6	CB	53.0	11.5	CB	71.2	10.8	CB	55.3	11.7	PF
	6	56.5	14.0	CB	37.0	5.8	CB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	61.3	15.0	CB	37.9	7.2	CB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	43.4	10.7	CB	33.9	8.5	PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	9	52.0	3.0	PF	55.1	16.1	PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	46.3	34.6	CB	37.9	1.9	PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average(kN)		58.0	18.3	-	42.3	10.9	-	64.8	22.1	-	54.8	9.3	-	68.8	15.6	-	57.6	14.7	-
Standard Deviation		7.9			6.0			2.1			3.5			5.3			3.3		
Coefficient of Variation(%)		13.7			14.2			3.3			6.4			7.7			5.6		

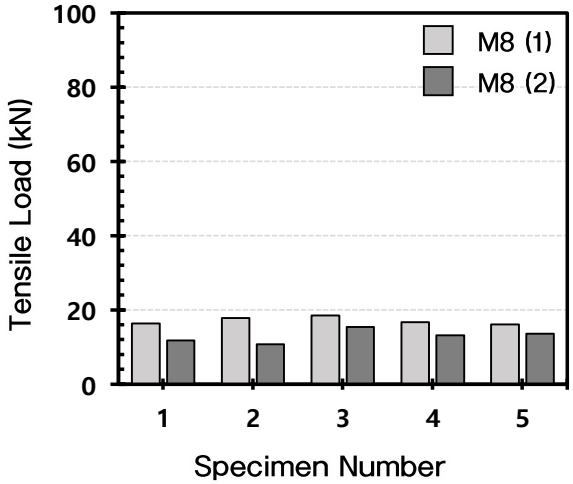
- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout



$1.0h_{ef}$

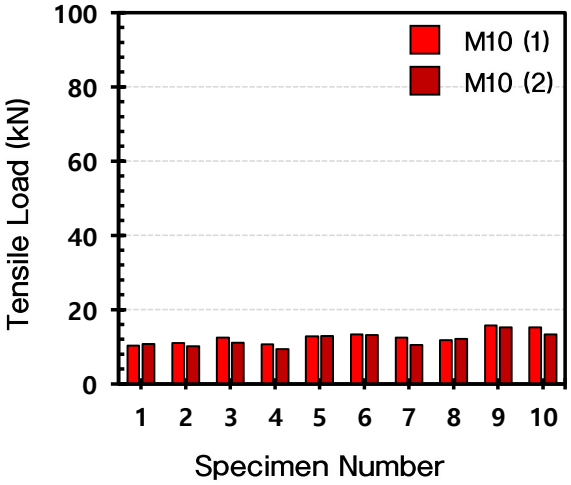


$1.3h_{ef}$

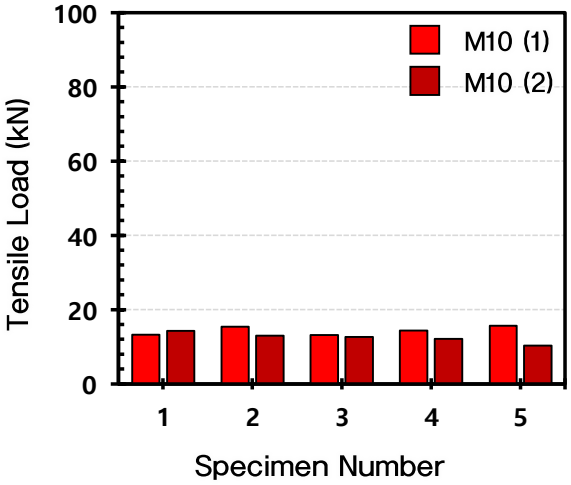


$1.5h_{ef}$

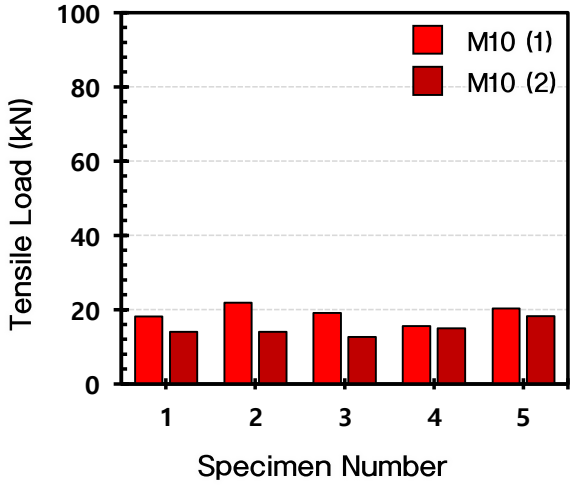
[그림 2.9.40] 시험번호 ⑧ 시험결과 (M8)



$1.0h_{ef}$

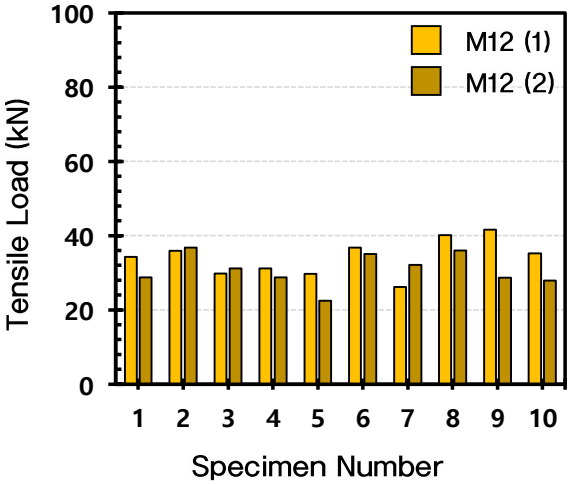


$1.3h_{ef}$

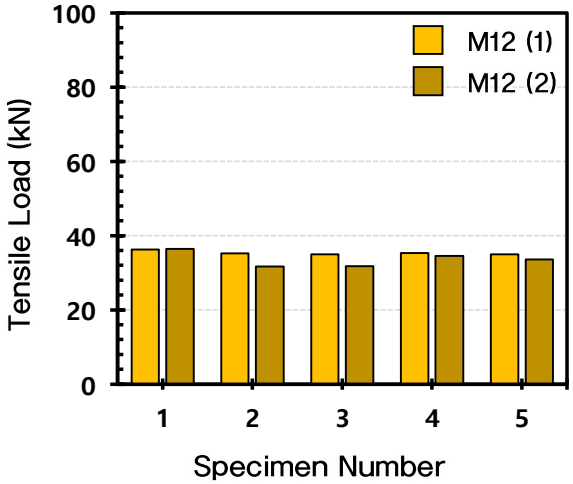


$1.5h_{ef}$

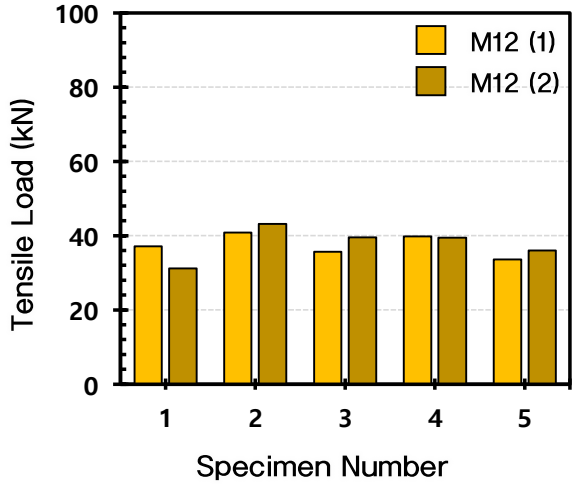
[그림 2.9.41] 시험번호 ⑧ 시험결과 (M10)



$1.0h_{ef}$

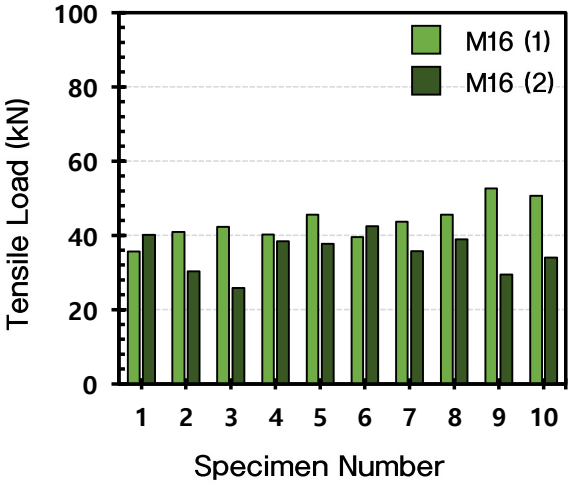


$1.3h_{ef}$

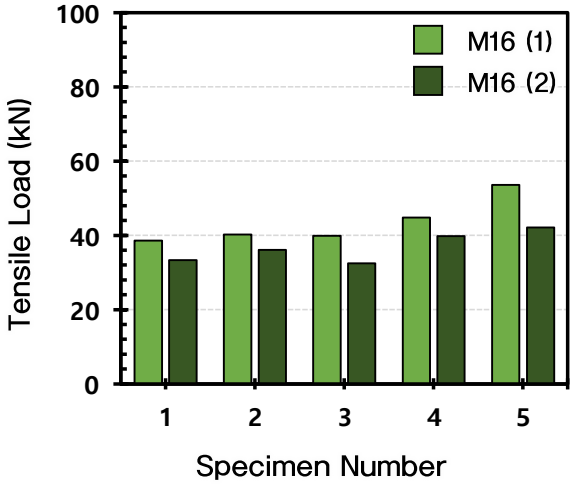


$1.5h_{ef}$

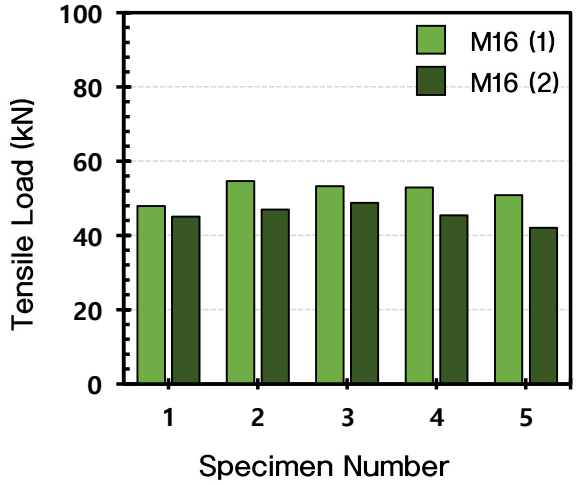
[그림 2.9.42] 시험번호 ⑧ 시험결과 (M12)



$1.0h_{ef}$

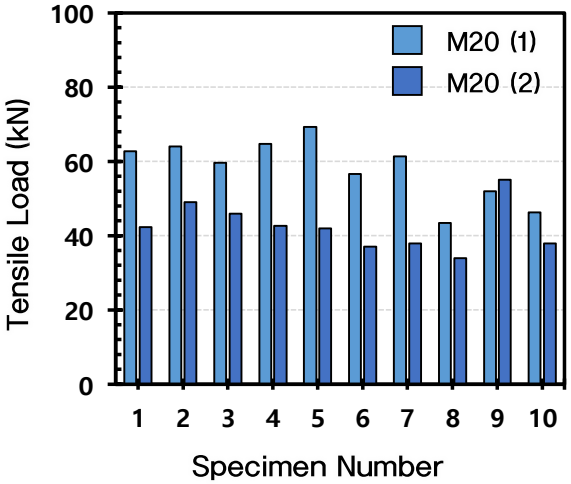


$1.3h_{ef}$

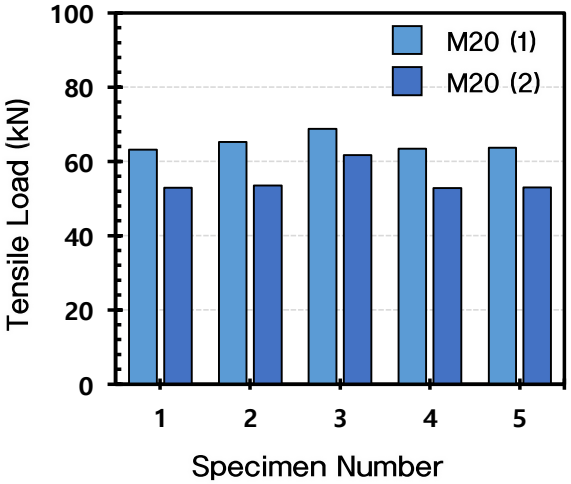


$1.5h_{ef}$

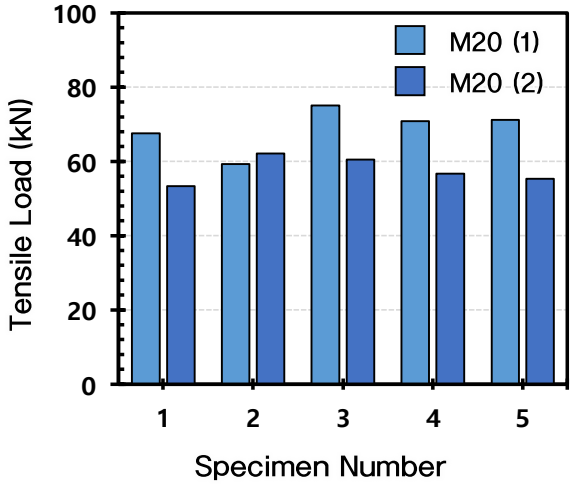
[그림 2.9.43] 시험번호 ⑧ 시험결과 (M16)



$1.0h_{ef}$



$1.3h_{ef}$



$1.5h_{ef}$

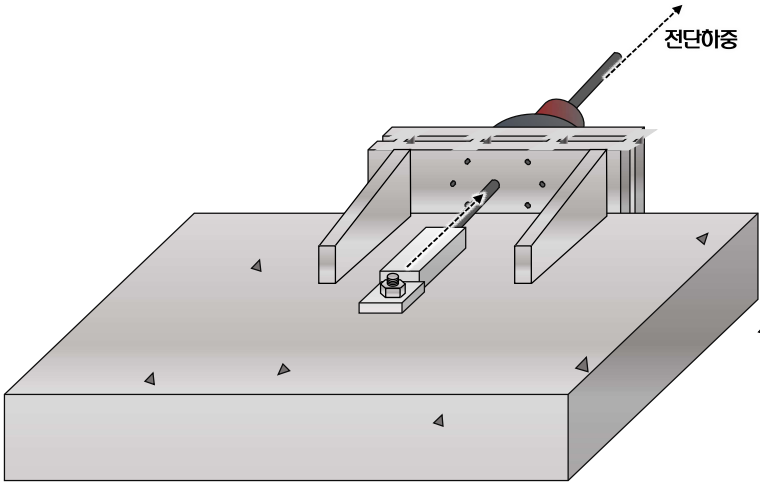
[그림 2.9.44] 시험번호 ⑧ 시험결과 (M20)

- 시험번호 ⑨ (사용조건시험 / 전단하중을 받는 앵커)

① 본 시험은 전단 및 연단거리에 영향을 받지 않는 앵커의 전단성능을 검증하기 위한 시험임. 앵커는 연단거리 $1.5h_{ef}$ 이상으로 하여 설치하였고, 콘크리트의 강도 및 앵커의 강성저하에 따른 파괴거동을 검토하였음.

② 비균열 저강도 콘크리트에서의 전단시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 9.2 ~ 13.7%로 나타났음. 사용조건시험의 경우, 앵커의 사용성을 평가하기 위한 변동계수 허용기준은 없으나 기준시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 15% 이내 값을 가지고 있어 앵커를 사용하는데 문제가 없을 것으로 판단됨.

③ 개선 전 후설치 앵커의 경우 최종파괴형상은 대부분 '강재파괴+뽑힘파괴'로 나타났음. 본 시험의 경우, 최종파괴형상은 대부분 프라이아웃 파괴로 나타났는데, 이는 슬리브 및 헤드상세가 개선됨에 따라 앵커의 지지력이 향상되었고, 이로 인해 콘크리트에 저항하는 성능이 향상된 것으로 판단됨. 또한, 본 시험의 평균전단하중이 설계강도 보다 높게 나타나 앵커의 전단성능은 충분히 확보되었음을 알 수 있었음. <표 2.9.39>는 시험결과를 나타낸 것이고, [그림 2.9.47]은 각 직경별 앵커의 인발하중을 나타낸 것임.



[그림 2.9.45] 앵커의 전단성능 검토를 위한 시험 Set-up

<표 2.9.38> 시험번호 ⑨ 인발시험결과

D(㎜)	V_{design}kN)	V_{test}(kN)	Stdev	CoV(%)
M8	9.6	11.3	1.3	11.5
M10	16.7	20.2	2.8	13.7
M12	22.3	22.9	2.9	12.7
M16	39.0	38.4	3.5	9.2
M20	63.4	55.7	6.4	11.6



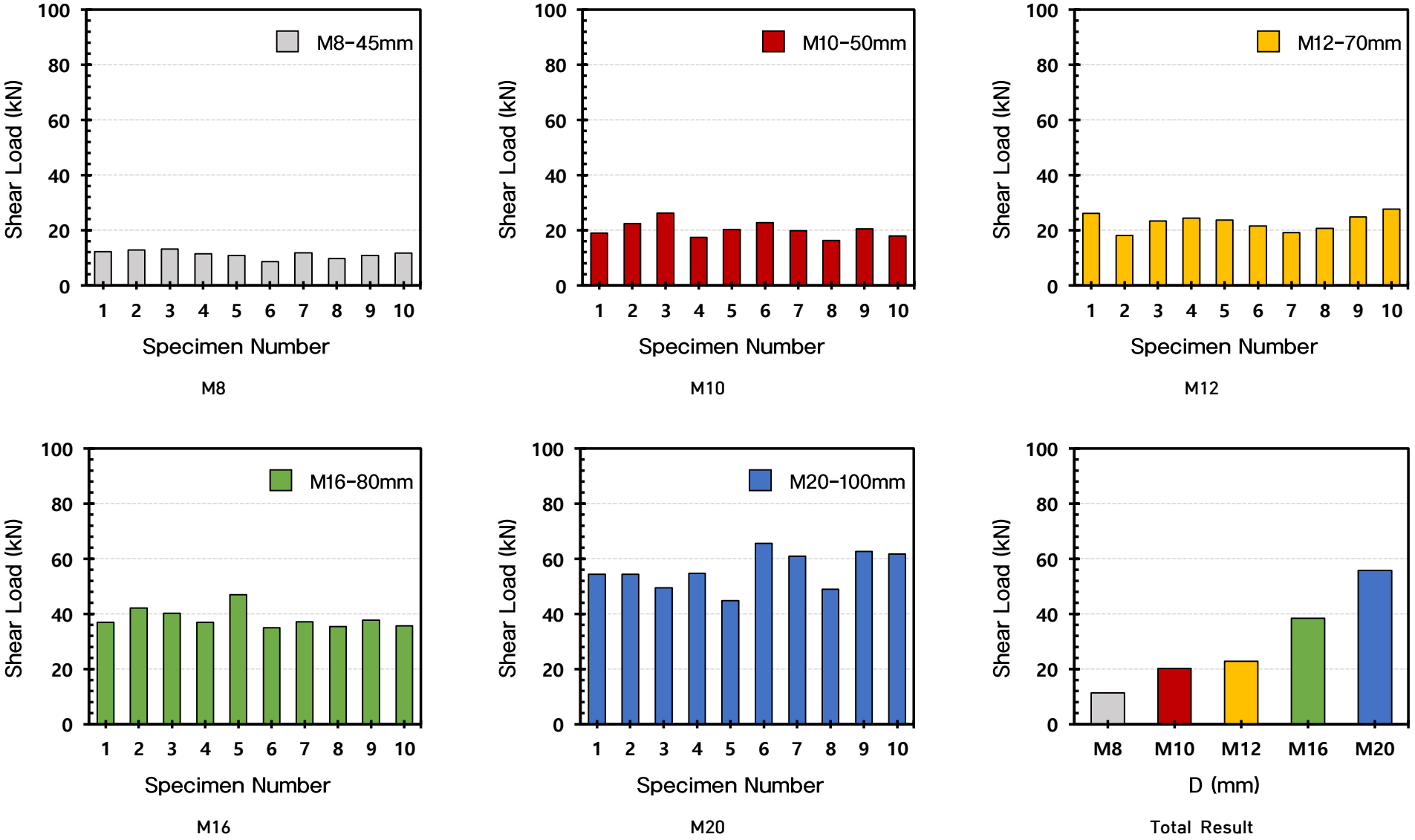
M8	M10	M12	M16	M20

[그림 2.9.46] 전단하중을 받는 앵커의 최종파괴형상

<표 2.9.39> 시험번호 ⑨ 시험결과 (각 직경별 앵커의 시험결과 값)

f_{ck}(MPa)	21	Test Number ⑨													
D(㎜)		8			10			12			16			20		
h_{ef}(㎜)		45			50			70			80			100		
Result		Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode	Load (kN)	Displ. (㎜)	Failure Mode
Specimen	1	12.2	26.1	PO	18.9	26.9	PO	26.0	46.4	PO	36.9	56.7	PO	54.3	27.8	PO
	2	12.8	15.0	PO	22.4	19.9	PO	18.1	29.2	ST	42.1	40.8	PO	54.4	46.5	PO
	3	13.1	20.0	ST	26.1	19.5	PO	23.3	27.0	ST	40.2	31.4	PO	49.4	35.6	PO
	4	11.4	19.6	ST	17.4	15.2	PO	24.3	22.7	ST	36.9	38.7	PO	54.7	46.3	PO
	5	10.8	11.8	PO	20.2	34.0	PO	23.6	33.0	PO	46.9	33.1	PO	44.8	42.7	PO
	6	8.6	12.3	ST	22.7	24.7	PO	21.4	37.8	ST	35.0	32.5	PO	65.6	54.1	PO
	7	11.8	20.3	ST	19.8	17.3	PO	19.0	26.2	ST	37.1	33.8	PO	60.9	56.6	PO
	8	9.7	15.6	PO	16.2	10.6	PO	20.7	25.7	PO	35.3	38.2	PO	48.9	37.7	PO
	9	10.8	14.7	ST	20.4	15.7	PO	24.8	27.9	ST	37.7	29.3	PO	62.6	51.9	PO
	10	11.6	15.8	PO	17.9	11.8	PO	27.6	42.8	PO	35.6	33.3	PO	61.7	38.9	PO
Average(kN)		11.3	17.1	-	20.2	19.5	-	22.9	31.9	-	38.4	36.8	-	55.7	43.8	-
Standard Deviation		1.3			2.8			2.9			3.5			6.4		
Coefficient of Variation(%)		11.5			13.7			12.7			9.2			11.6		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout, PO : Pry-out Faliure , ST : Steel Faliure



[그림 2.9.47] 시험번호 ⑨ 시험결과 (각 직경별 앵커 전단하중 비교)

○ 본 연구에서는 슬리브 및 헤드부를 개선하여 정착성능이 향상된 비틀림 제어 확장앵커의 성능검증실험을 수행하였음. ‘콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집’에 제시된 비균열 콘크리트에서의 앵커 시스템에 따라 기준시험, 신뢰성시험 및 사용조건시험을 수행하였고, 시험결과는 다음과 같음.

- 시험번호 ① (기준시험 / 비균열 저강도 콘크리트)
  : 비균열 저강도 콘크리트에서의 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 5.2 ~ 13.5%로 나타나 기준시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 15% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 또한, 인장하중에 대한 콘크리트 콘파괴 설계강도 값을 상회하여 앵커의 성능은 충분히 확보되었음을 알 수 있었음.

- 시험번호 ② (기준시험 / 비균열 고강도 콘크리트)
  : 비균열 고강도 콘크리트에서의 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 5.6 ~ 14.4%로 나타나 기준시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 15% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 또한, 인장하중에 대한 콘크리트 콘파괴 설계강도 값을 상회하여 앵커의 성능은 충분히 확보되었음을 알 수 있었음.

- 시험번호 ③ (신뢰성시험 / 균열 고강도 콘크리트 + 각 직경별 앵커의 토크 값 50% 적용)
  : 균열 고강도 콘크리트 및 50%의 토크 값을 적용한 앵커의 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 2.0 ~ 16.8%로 나타나 신뢰성시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 본 시험의 경우, 각 직경별 앵커의 50% 토크 값과 균열면에 앵커를 설치하였기 때문에 기준시험결과보다 앵커의 내력이 많이 감소하였지만 인장하중에 대한 콘크리트 콘파괴 설계강도 값을 상회하여 앵커의 성능은 충분히 확보되었음을 알 수 있었음.

- 시험번호 ④ (신뢰성시험 / 큰 앵커 구멍에 대한 민감도)
  : 비균열 저강도 콘크리트에서 큰 앵커 구멍에 대한 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 11.4 ~ 14.0%로 나타나 신뢰성시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 본 시험의 경우, 표준 구멍보다 더 크게 천공한 구멍의 영향으로 인해 앵커의 슬리브가 확장되어도 충분한 걸림력이 작용하지 않아 기준시험결과보다 앵커의 내력이 많이 감소하였지만 앵커의 최종파괴형상이 대부분 콘크리트 콘파괴이며, 콘크리트 콘파괴 설계강도 값보다 높게 나타나 앵커의 성능은 충분히 확보되었음을 알 수 있었음.

- 시험번호 ⑤ (신뢰성시험 / 작은 앵커 구멍에 대한 민감도)
  : 비균열 고강도 콘크리트에서 작은 앵커 구멍에 대한 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 6.0 ~ 13.7%로 나타나 신뢰성시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 본 시험의 경우, 표준 구멍보다 더 작게 천공한 구멍의 영향으로 인해 슬리브가 확장할 수 있는 공간이 부족하여 기준시험결과보다 앵커의 내력이 많이 감소하였지만 앵커의 최종파괴형상이 대부분 콘크리트 콘파괴이며, 콘크리트 콘파괴 설계강도 값보다 높게 나타나 앵커의 성능은 충분히 확보되었음을 알 수 있었음.

- 시험번호 ⑥ (신뢰성시험 / 반복하중을 받는 앵커)
  : 비균열 저강도 콘크리트에서 반복하중을 받는 앵커의 성능검증 시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커는 10^3 이전까지는 안정적인 탄성거동을 나타냈음. 10^4 이후에는 지속적인 하중 가력으로 인해 앵커와 설치홀에 슬립이 발생하면서 변위가 증가하였지만, 증가된 변위량은 미세하였음. 반복가력이 완료된 후 잔류강도를 평가하기 위한 인발시험 수행결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 4.0 ~

12.0%로 나타나 신뢰성시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 각 직경별 앵커의 평균인발하중은 기준시험 대비 약 83 ~ 89%로 나타나 다소 부족한 성능을 나타냈지만 설계강도 대비 약 185 ~ 211%로 나타나 앵커가 피로상태여도 앵커의 성능은 충분히 확보됨을 알 수 있었음.

- 시험번호 ⑦ (사용조건시험 / 연단거리 $1.5h_{ef}$에 설치된 앵커)
  : 비균열 저강도 콘크리트에서 모서리 $1.5h_{ef}$에 설치된 앵커의 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 2.0 ~ 10.0%로 나타났음. 사용조건시험의 경우, 앵커의 사용성을 평가하기 위한 변동계수 허용기준은 없으나 기준시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 15% 이내 값을 만족하였음. 본 시험의 경우, 각 직경별 앵커는 $1.5h_{ef}$이상의 연단거리를 가지지 못하여 기준시험과 동등한 성능을 확보하지 못하였으나, 콘크리트 콘파괴에 대한 설계강도 값을 상회하여 앵커의 성능은 충분히 확보되었음을 알 수 있었음.

- 시험번호 ⑧ (사용조건시험 / 최소간격으로 설치된 앵커)
  : 비균열 저강도 콘크리트에서 최소간격을 가지는 두 개의 앵커 설치 및 인발시험을 수행한 결과, 앵커 설치 시 비틀림력에 따른 앵커 간에 콘크리트 쪼개짐이나 육안으로 확인되는 앵커의 파괴형상은 발견되지 않았음. 또한, $1.0h_{ef}$, $1.3h_{ef}$, $1.5h_{ef}$의 설치간격으로 설치된 두 개의 앵커를 인발한 결과, 설치 간격이 좁을수록 앵커의 내력이 감소하는 것을 확인하였음. 이는 앵커의 설치 간격이 좁을수록 인발 시 앵커가 콘크리트에 저항하는 면적이 다른 앵커에 중첩되어 앵커의 지지력에 영향을 미치는 것으로 판단됨. 그러나, 최소설치간격에 따른 각 직경별 앵커의 시험결과는 콘크리트 콘파괴에 대한 설계강도 값을 상회하여 최소간격을 가져도 앵커의 성능은 충분히 확보되었음을 알 수 있었음.

- 시험번호 ⑨ (사용조건시험 / 전단하중을 받는 앵커)
  : 비균열 저강도 콘크리트에서 전단하중을 받는 앵커의 전단시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 9.2 ~ 13.7%로 나타났음. 본 시험의 경우, 앵커의 최종파괴형상이 대부분 프라이아웃 파괴로 나타났는데 이는 앵커의 슬리브 및 헤드상세가 개선됨에 따라 앵커의 지지력이 향상되어 콘크리트에 저항하는 성능이 향상된 것으로 판단됨. 또한, 콘크리트 파괴에 대한 설계강도 값을 상회하여 앵커의 전단성능은 충분히 확보되었음을 알 수 있었음.

○ 국내 앵커 설계기준은 미국의 ACI 355 및 ACI 318, 유럽의 EOTA 등의 앵커설계법을 기반으로 하여 제정하거나, 실무에 활용하고 있음. 최근에는 국내 후설치 앵커의 사용성이 증가함에 따라 관련 연구가 활발히 진행되고 있으며, 국내에서는 “콘크리트용 앵커 설계기준(KDS 14 20 54)” 및 “콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집”등의 시험기준 및 시험법 등의 매뉴얼을 제정하여 다양한 건설분야에 앵커가 안전히 사용될 수 있도록 하고 현재까지도 지속적으로 개정되고 있음.

○ 본 연구에서는 연구결과를 통해 국내외 앵커 설계기준과 비교하여 개발한 비틀림 제어 확장앵커의 성능을 검토하였음. 현재, 국내 후설치 앵커 설계기준은 미국의 ACI 355 및 ACI 318을 기반으로 하여 확립된 설계식으로 국내 앵커 설계식과 유사하여 본 연구에서는 국내 앵커 설계식을 이용하여 앵커의 설계강도를 산정하였음. 시험결과, 앵커의 성능은 모두 설계강도를 상회하여 앵커의 정착성능은 충분히 확보되었음을 검증하였음. 본 연구결과를 통해 미국의 ACI 355 및 ACI 318, 유럽의 EOTA 등의 설계식과 비교하여 수정식을 제안하는 논문을 국내 전문 학술지에 게재하였고, 추후 지속적으로 국내 앵커 설계기준 개정의 기초자료로 활용될 수 있는 연구결과를 발표하고자 함. 또한, 본 연구결과 및 추후 다양한 앵커 시험의 결과를 DB화하여 앵커의 설계와 시공에 활용될 수 있는 앵커 설계프로그램(SW)을 개발하였음.

(5) 기존 및 개선된 후설치 앵커의 성능 비교

○ 본 연구에서는 기존 비틀림 제어 확장앵커의 성능을 향상시키고자 유한요소해석을 수행하여 최적의 형상을 도출하였고, 이에 성능검증실험을 수행하여 앵커의 성능을 검토하였음. 한국콘크리트학회에서 발간한 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'에 명시된 비균열 콘크리트에서의 앵커 시스템을 따라 기준시험 및 신뢰성시험, 사용조건시험을 수행하였음. 이에 기준시험의 저강도 및 고강도 콘크리트에서의 인발시험 결과를 활용하여 기존 비틀림 제어 확장앵커의 성능과 비교·평가하였음.



개선 전 후설치 앵커 **개선 후 후설치 앵커**

[그림 2.9.48] 기존 및 개선 후설치 앵커의 확장부(슬리브 및 헤드) 비교

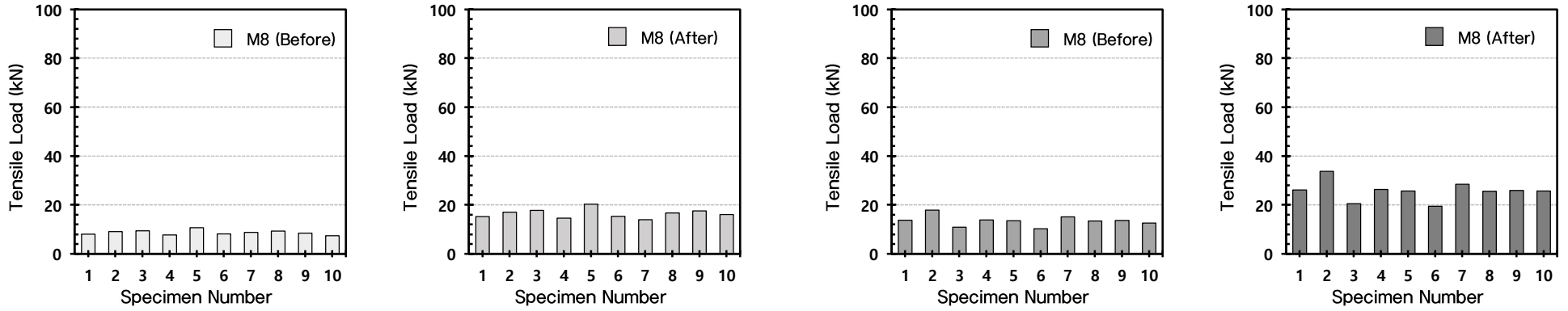
○ 기존 비틀림 제어 확장앵커는 최종 파괴형상 대부분이 '콘크리트 콘파괴+뽑힘파괴'로 나타나 앵커와 콘크리트의 성능을 모두 사용하지 못하고 파괴된 반면, 개선된 앵커의 경우 대부분 '콘크리트 콘파괴'로 나타나 콘크리트와 앵커의 성능을 모두 사용한 후 파괴된 것으로 나타났음. 이는 기존 비틀림 제어 확장앵커의 슬리브 및 헤드상세를 개선함에 따라 앵커가 콘크리트 내부에 저항하는 지지력이 향상되어 충분한 걸림력과 마찰력이 작용되었음을 알 수 있었음.

- M8의 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 성능을 비교한 결과, 저강도 콘크리트에서는 개선된 앵커가 기존 앵커 대비 약 187% 정도 향상되었고, 고강도 콘크리트에서는 약 190% 정도 향상되었음을 확인하였음(<표 2.9.40> 및 [그림 2.9.49] 참조).
- M10의 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 성능을 비교한 결과, 저강도 콘크리트에서는 개선된 앵커가 기존 앵커 대비 약 121% 정도 향상되었고, 고강도 콘크리트에서는 약 128% 정도 향상되었음을 확인하였음(<표 2.9.41> 및 [그림 2.9.50] 참조).
- M12의 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 성능을 비교한 결과, 저강도 콘크리트에서는 개선된 앵커가 기존 앵커 대비 약 160% 정도 향상되었고, 고강도 콘크리트에서는 약 154% 정도 향상되었음을 확인하였음(<표 2.9.42> 및 [그림 2.9.51] 참조).
- M16의 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 성능을 비교한 결과, 저강도 콘크리트에서는 개선된 앵커가 기존 앵커 대비 약 161% 정도 향상되었고, 고강도 콘크리트에서는 약 165% 정도 향상되었음을 확인하였음(<표 2.9.43> 및 [그림 2.9.52] 참조).
- M20의 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 성능을 비교한 결과, 저강도 콘크리트에서는 개선된 앵커가 기존 앵커 대비 약 138% 정도 향상되었고, 고강도 콘크리트에서는 약 134% 정도 향상되었음을 확인하였음(<표 2.9.44> 및 [그림 2.9.53] 참조).

<표 2.9.40> 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M8)

D(㎜)	M8											
f_{ck}(MPa)	Low strength concrete						High strength concrete					
Comparison	Before			After			Before			After		
Result	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode
1	8.1	2.1	PF	15.3	4.1	CB	13.8	4.8	CB	26.1	4.1	CB
2	9.1	3.6	CB	17.1	1.4	CB	17.8	4.2	PF	33.7	5.2	CB
3	9.4	3.1	CB	17.7	0.7	CB	10.9	3.8	PF	20.5	4.1	CB
4	7.7	2.6	PF	14.6	3.7	PF	13.9	5.4	CB	26.3	3.2	CB
5	10.7	9.1	CB	20.3	1.7	CB	13.6	4.8	CB	25.6	1.8	CB
6	8.1	4.6	PF	15.4	2.1	CB	10.3	4.5	PF	19.5	3.4	PF
7	8.9	2.9	PF	14.0	1.4	PF	15.1	7.3	CB	28.5	2.9	CB
8	9.3	1.3	CB	16.8	2.7	CB	13.5	6.3	CB	25.5	4.2	CB
9	8.5	4.2	PF	17.5	2.0	CB	13.7	5.8	CB	25.9	2.6	CB
10	7.4	3.9	PF	16.1	1.7	CB	12.6	7.8	PF	25.7	4.5	CB
Avg(kN)	8.7	3.7	-	16.5	2.1	-	13.5	5.5	-	25.7	3.6	-
Stdev	0.9			1.7			2.0			3.7		
CoV(%)	10.6			10.5			14.7			14.4		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout



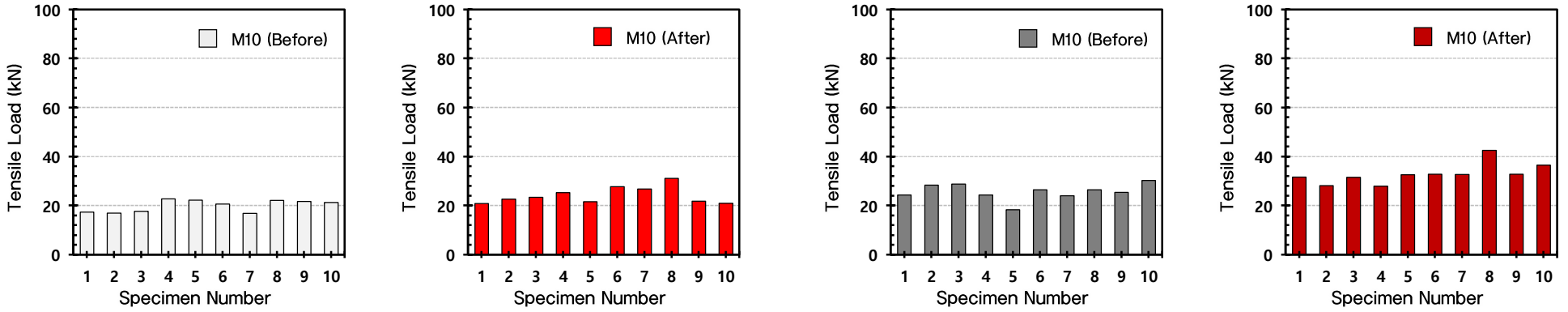
(a) Low strength concrete **(b) High strength concrete**

[그림 2.9.49] 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M8)

<표 2.9.41> 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M10)

D(㎜)	M10											
f_{ck}(MPa)	Low strength concrete						High strength concrete					
Comparison	Before			After			Before			After		
Result	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode
1	17.4	12.0	PF	20.8	12.0	PF	24.4	7.3	CB	31.6	13.7	CB
2	16.9	8.8	PF	22.5	7.7	CB	28.3	8.5	PF	28.1	10.7	CB
3	17.7	4.6	CB	23.3	7.5	CB	28.7	9.8	CB	31.5	4.6	CB
4	22.7	6.3	CB	25.2	4.7	CB	24.3	11.2	CB	27.9	3.5	PF
5	22.2	8.7	CB	21.6	8.5	CB	18.3	5.9	PF	32.6	8.2	CB
6	20.6	5.5	CB	27.8	4.6	CB	26.5	8.5	CB	32.9	8.8	CB
7	16.8	10.2	PF	26.7	4.6	CB	24.0	5.0	CB	32.7	8.2	CB
8	22.1	7.8	CB	31.1	2.2	CB	26.5	7.3	PF	42.5	6.2	CB
9	21.8	9.4	PF	21.8	5.9	PF	25.3	9.8	CB	32.8	5.0	CB
10	21.2	8.1	CB	21.0	5.2	CB	30.3	11.7	CB	36.5	17.6	CB
Avg(kN)	19.9	8.1	-	24.2	6.3	-	25.7	8.5	-	32.9	8.6	-
Stdev	2.3			3.3			3.2			4.0		
CoV(%)	11.6			13.5			12.3			12.0		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout



(a) Low strength concrete

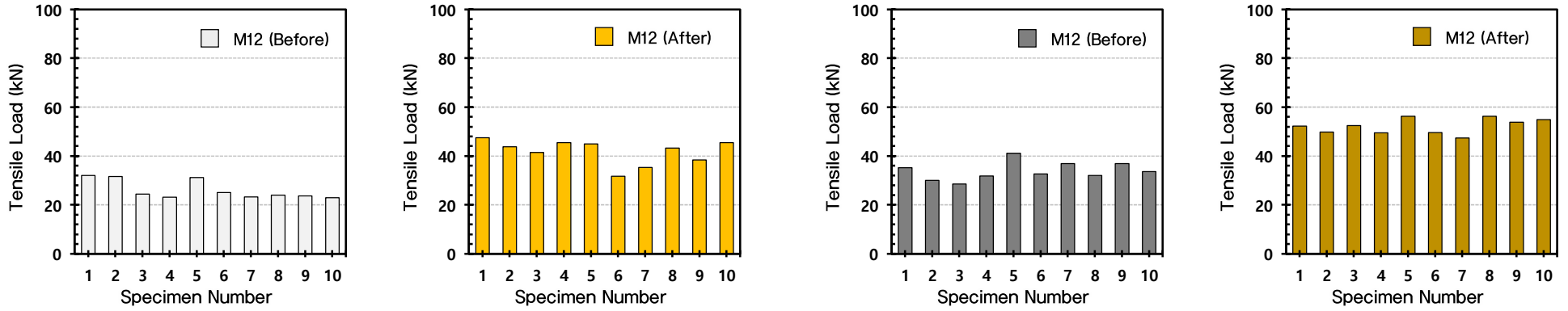
(b) High strength concrete

[그림 2.9.50] 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M10)

<표 2.9.42> 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M12)

D(㎜)	M12											
f_{ck}(MPa)	Low strength concrete						High strength concrete					
Comparison	Before			After			Before			After		
Result	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode
1	32.1	8.7	CB	47.5	9.2	CB	35.2	8.8	CB	52.2	10.9	CB
2	31.6	9.5	PF	43.9	10.6	CB	30.1	5.0	PF	49.8	17.1	CB
3	24.5	10.3	CB	41.4	10.7	CB	28.5	6.7	PF	52.4	6.5	CB
4	23.1	6.6	PF	45.5	9.5	CB	31.8	7.6	PF	49.4	7.3	CB
5	31.2	7.6	PF	44.9	8.9	CB	41.2	6.4	CB	56.3	14.1	CB
6	25.1	8.3	CB	31.8	5.9	CB	32.7	3.5	CB	49.6	12.0	CB
7	23.2	10.8	PF	35.4	9.5	CB	36.9	4.0	CB	47.4	8.5	CB
8	24.1	9.8	PF	43.3	10.7	CB	32.0	5.6	PF	56.3	7.3	CB
9	23.7	8.4	CB	38.4	13.0	CB	36.9	5.2	CB	53.8	12.2	CB
10	22.9	10.8	PF	45.5	9.8	CB	33.6	4.4	CB	54.8	14.4	CB
Avg(kN)	26.2	9.1	-	41.7	9.8	-	33.9	5.7	-	52.2	11.0	-
Stdev	3.6			4.8			3.6			2.9		
CoV(%)	13.9			11.5			10.5			5.6		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout



(a) Low strength concrete

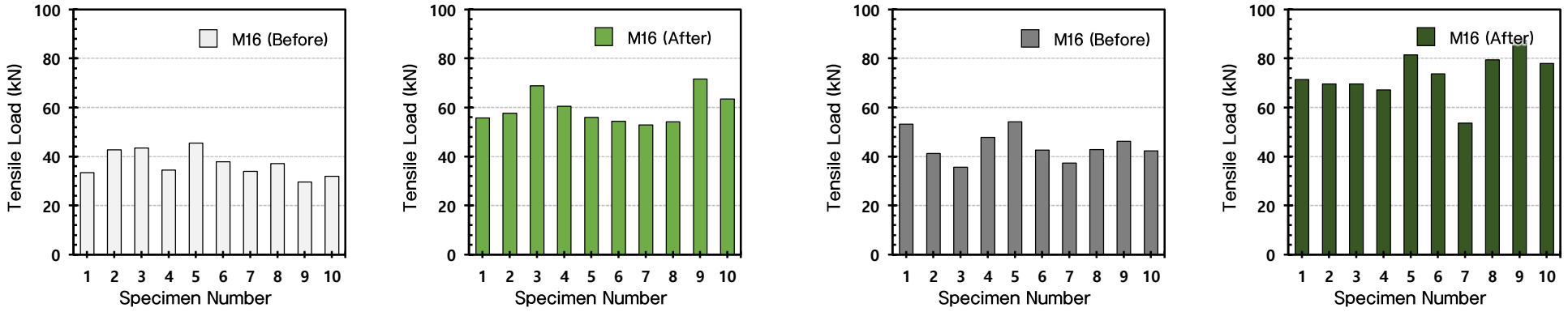
(b) High strength concrete

[그림 2.9.51] 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M12)

<표 2.9.43> 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M16)

D(㎜)	M16											
f_{ck}(MPa)	Low strength concrete						High strength concrete					
Comparison	Before			After			Before			After		
Result	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode
1	33.4	8.1	CB	55.7	9.1	CB	53.2	6.1	CB	71.3	13.5	CB
2	42.7	7.4	CB	57.6	8.4	CB	41.3	5.8	CB	69.6	11.1	CB
3	43.5	8.9	CB	68.8	8.7	CB	35.7	3.3	CB	69.6	10.7	CB
4	34.5	6.3	PF	60.4	9.6	CB	47.8	4.9	CB	67.2	12.1	CB
5	45.5	7.7	CB	55.9	8.3	CB	54.2	7.4	CB	81.5	9.8	CB
6	37.8	1.8	CB	54.4	10.6	CB	42.6	4.9	CB	73.6	16.0	CB
7	34.0	11.6	PF	52.8	4.0	CB	37.3	3.8	PF	53.6	9.8	CB
8	37.2	2.0	CB	54.2	6.0	CB	42.8	5.5	CB	79.4	13.6	CB
9	29.6	8.5	PF	71.6	10.9	CB	46.3	6.0	CB	87.3	13.5	CB
10	32.0	9.8	CB	63.4	5.0	CB	42.3	5.4	CB	77.9	10.7	CB
Avg(kN)	37.0	7.2	-	59.5	8.1	-	44.4	5.3	-	73.1	12.1	-
Stdev	5.1			6.2			5.8			8.8		
CoV(%)	13.7			10.3			13.0			12.1		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout



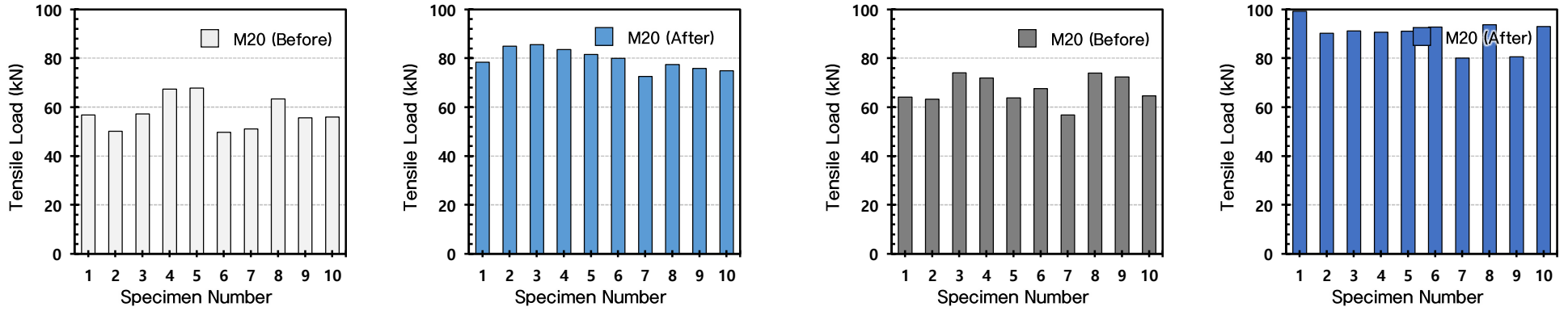
(a) Low strength concrete **(b) High strength concrete**

[그림 2.9.52] 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M16)

<표 2.9.44> 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M20)

D(㎜)	M20											
f_{ck}(MPa)	Low strength concrete						High strength concrete					
Comparison	Before			After			Before			After		
Result	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode
1	56.8	11.4	CB	78.4	12.0	CB	64.0	14.4	CB	99.2	17.5	CB
2	50.1	15.5	CB	84.9	20.6	CB	63.2	16.4	CB	90.2	15.5	CB
3	57.3	12	CB	85.5	13.8	CB	74.0	14.2	CB	91.1	14.5	CB
4	67.4	9.9	CB	83.5	13.7	CB	71.9	15.1	CB	90.6	25.8	CB
5	67.8	11.8	CB	81.6	12.7	CB	63.7	14.2	CB	91.0	20.7	CB
6	49.7	7.7	CB	79.9	13.6	CB	67.6	11.6	CB	92.7	20.1	CB
7	51.1	8.0	CB	72.6	14.6	CB	56.9	9.9	CB	80.0	25.8	CB
8	63.3	10.8	CB	77.4	8.8	CB	73.9	14.2	CB	93.7	16.3	CB
9	55.6	4.2	CB	75.9	18.2	CB	72.3	12.1	CB	80.6	25.8	CB
10	55.9	6.5	CB	74.9	14.2	CB	64.6	13.1	CB	92.9	18.4	CB
Avg(kN)	57.5	9.8	-	79.5	14.2	-	67.2	13.5	-	90.2	20.0	-
Stdev	6.3			4.2			5.4			5.5		
CoV(%)	11.0			5.2			8.0			6.1		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout



(a) Low strength concrete **(b) High strength concrete**

[그림 2.9.53] 기존 및 개선된 비틀림 제어 확장앵커 성능비교 (M20)

<표 2.9.45> 비균열 콘크리트에서의 앵커 시험보고서

특성	기호	단위	공칭 앵커 지름				
			M8	M10	M12	M16	M20
설치정보							
외부 지름	d_a	㎜	8	10	12	16	20
유효 묻힘 깊이	h_{ef}	㎜	45	50	70	80	100
최소 천공직경	d_{min}	㎜	8.05 ~ 8.20	10.10 ~ 10.20	12.10 ~ 12.20	16.10 ~ 16.20	20.10 ~ 20.20
최대 천공직경	d_{max}	㎜	8.40 ~ 8.45	10.40 ~ 10.45	12.45 ~ 12.50	16.45 ~ 16.50	20.50 ~ 20.55
설치 비틀림	T_{inst}	N·m	15	30	50	100	200
최소 연단거리	c_{min}	㎜	55	65	75	90	120
최소 간격	s_{min}	㎜	105	126	150	180	240
최소 콘크리트 두께	h_{min}	㎜	100	100	140	160	200
기본 연단거리	c_{cr}	㎜	72	75	105	120	150
앵커자료							
앵커 범주	1,2,3	-	1	1	1	1	1
앵커강재의 항복강도	f_y	MPa	800.0	757.0	783.7	794.7	789.4
앵커강재의 인장강도	f_{ut}	MPa	900.0	871.0	905.7	915.3	907.5
유효인장응력 면적	$A_{se,N}$	㎟	36.6	58.0	84.3	156.7	244.8
유효전단응력 면적	$A_{se,V}$	㎟	36.6	58.0	84.3	156.7	244.8
슬리브 앵커의 전단강도	V_{sa}	N	9.6	16.7	22.3	39.0	63.4
콘크리트파괴에 대한 유효계수	k_{uncr}	-	7	7	7	7	7
비균열에 대한 수정계수	$\psi_{c,N}$	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
뽑힘강도	N_p	N	10.5	16.1	25.3	38.5	52.4
사용하중 범위에서의 축강성	β	kN/㎜	7.7	3.8	4.3	7.4	5.6
사용하중 범위에서의 축강성에 대한 변동계수	ν	%	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9

2.9.3 균열보수성능을 확보한 콘크리트용 후설치 앵커 개발

(1) 연구개요

○ 본 연구에서는 슬리브 및 헤드상세를 개선한 비틀림 제어 확장앵커를 대상으로 하여 균열 콘크리트에서도 정상상황(비균열 콘크리트)에서의 약 50% 이상의 성능을 확보하고 있는지 검증하고자 함. 또한, 균열보수성능을 가진 후설치 앵커의 성능검증을 위한 균열 콘크리트 제작 및 실험법을 개발하고 이를 시스템으로 구축하여 국내 부족한 균열 앵커 시스템의 기술력을 향상시키고자 함.

<표 2.9.46> 연구목표

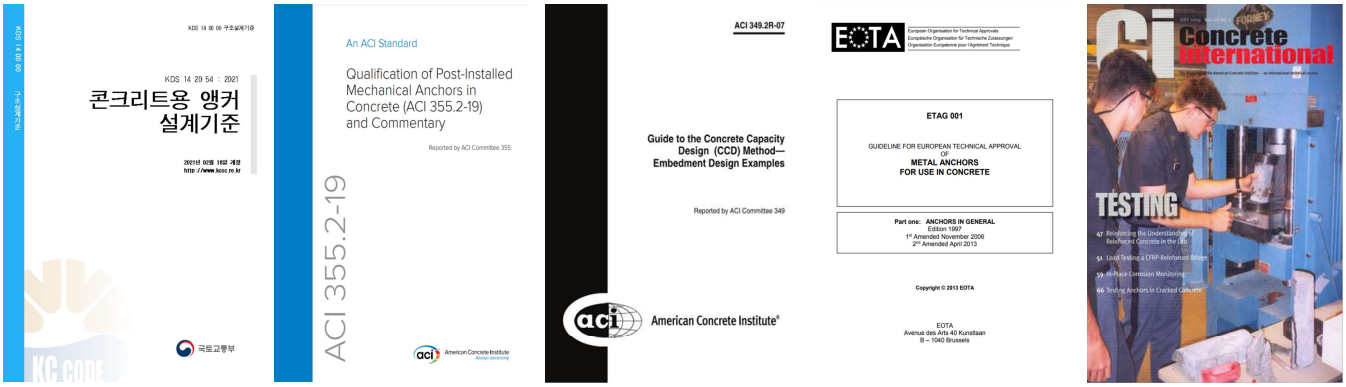
구분	내용 및 설정근거
최종목표	후설치 앵커의 형상을 개선하여 균열상황 (0.3㎜)에 대해서도 정상상황(비균열 콘크리트)의 50%이상의 성능을 발현하는 콘크리트용 후설치 앵커 개발
세부목표	- 국내외 문헌 및 자료를 통해 기존 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템 개발 - 균열보수성능을 확보한 후설치 앵커의 성능검증실험

○ 균열 앵커에 대한 연구를 수행하기 앞서 균열이 발생한 콘크리트 제작 및 균열유발방법에 대한 국내외 문헌 및 자료조사를 수집하고 스터디를 진행하여야 함. 또한, ㈜원진이 독일 시험기관을 방문하였을 때, 습득한 균열 콘크리트 시스템 노하우를 바탕으로 하여 본 연구의 목표를 달성하고자 함.

(2) 국내외 균열 콘크리트에 대한 문헌 및 자료조사

○ 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템 구축과 균열보수성능을 가진 후설치 앵커의 성능검증실험을 위하여 국내외 균열 콘크리트에 대한 문헌 및 자료조사를 수행하였음.

○ 국내외 학회에서 발간한 실무지침도서나 설계기준에는 균열이 발생한 콘크리트에서의 후설치 앵커 성능검증에 대한 기준 및 설계방법이 잘 명시되어 있음. 또한, 실무자들이 균열이 발생한 콘크리트 구조물에 설치된 후설치 앵커의 설계 및 성능검증을 할 수 있도록 코드나 설계지침에 대한 절차가 제공되고 있음.



[그림 2.9.54] 국내외 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 설계기준 및 지침

○ 현재 정립된 설계기준이나 지침에는 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커성능검증을 위한 설계기준 및 절차는 잘 명시되어 있으나, 이를 검증하기 위한 실험시스템의 구체적인 사항은 미흡한 편임. 이로 인해균열이 발생한 콘크리트 구조물에 앵커를 사용하거나, 보강을 목적으로 앵커를 설계할 경우, 제조사에서

제시하고 있는 균열 앵커의 성능 값만 이용하여 신뢰성이 낮고, 사용성이 검증된 DB를 확보할 수 없음.

○ 균열 콘크리트에서 앵커의 성능검증실험을 수행하기 위한 균열 콘크리트 모재 제작 및 균열형성에 대한 방법은 관련 연구자들의 이론적 지식이나 실험적 경험을 바탕으로 하여 논문이나 구조 관련 매거진을 통해 제공하고 있지만, 이에 대한 상세한 방법과 설명은 구체적이지 않음. 이는 국내에서도 같은 실정이며, 본 연구를 통해 기준이 확립된 실험시스템을 구축하고자 함.



[그림 2.9.55] 연구자들의 실험적 노하우에 따른 균열시스템 구축

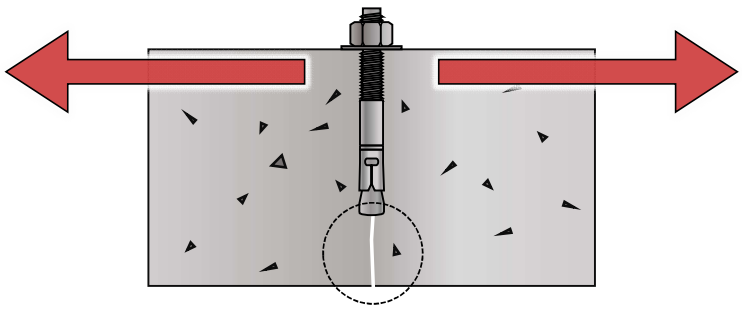
○ 균열 콘크리트에 대하여 국내외 기존문헌 및 자료조사를 통해 일반적으로 많이 사용되는 균열 콘크리트 실험체 제작방법에 대한 대표적인 예시를 선정하여 분석하였음. 기존 방법의 특징 및 문제점을 분석하여 이에 대한 개선 및 보완을 수행하고, 새로운 아이디어를 고안하여 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템을 구축하고자 함.

1) 반복하중을 받는 앵커의 거동에 의한 콘크리트 균열유발방법

① 반복하중을 받는 앵커의 거동에 의한 콘크리트의 균열을 유발하는 방법은 콘크리트 모재에 후설치 앵커를 설치하고, 앵커의 반복하중을 가력함. 이때 반복하중에 의해 앵커가 콘크리트 내부에서 거동하면서 균열이 발생함. 반복하중에 의한 균열유발방법은 실제 지진하중에 의해 발생하는 콘크리트 구조물의 균열과 유사한 균열을 나타낼 수 있어 실험환경에 대한 신뢰도가 높음.

② 본 실험방법은 일반적으로 앵커에 액추에이터(유압을 이용한 대용량 가력기)를 연결하여 반복하중을 가하여 균열을 유발하고 있음. 이에 실험대상 및 실험변수가 많을수록 균열 유발을 위한 작업의 효율성이 떨어지고, 작업소요시간이 많아짐. 또한, 콘크리트에 균열을 유발한 후 콘크리트의 복원력 때문에 일정한 균열폭을 조정할 수가 없음.

③ 콘크리트 균열 유발을 위한 작업의 효율성 및 소요시간을 줄이기 위하여 1개의 콘크리트 모재에 여러 개의 앵커를 설치하여 전반적인 실험소요시간을 줄여야함. 또한, 용이한 균열형성을 위해 중장비 대신 경장비를 이용하고, 반복가력이 아닌 단조가력을 통해 균열을 유발할 수 있도록 해야 함.



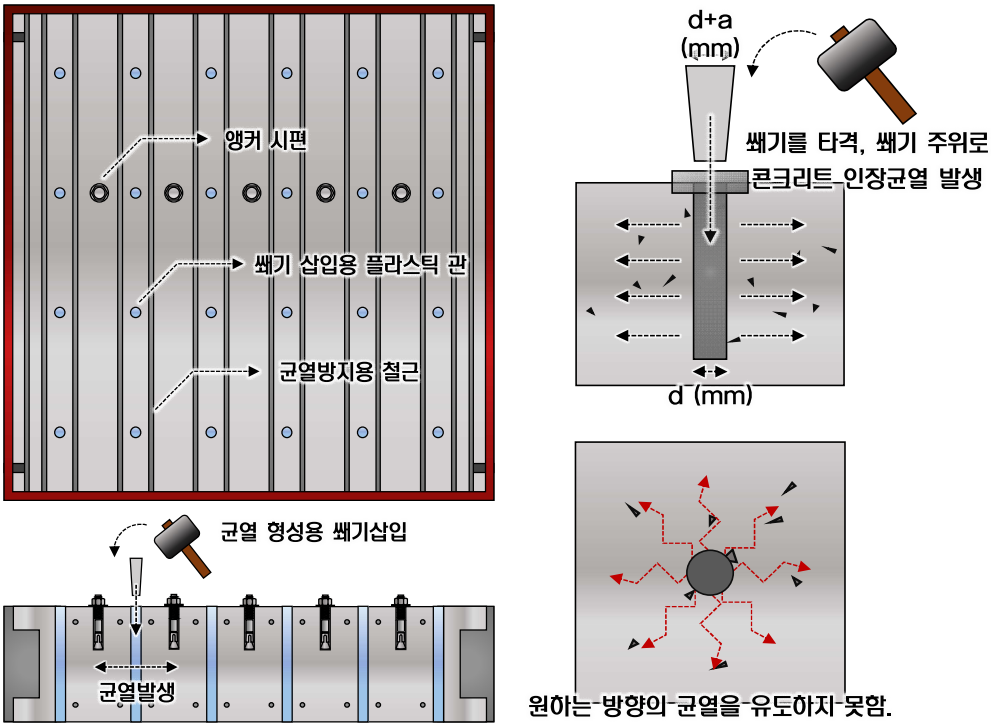
[그림 2.9.56] 반복하중을 받는 앵커의 거동에 의한 콘크리트 균열유발방법

2) 쐐기삽입을 통한 콘크리트 균열유발방법

① 쐐기삽입을 통해 콘크리트의 균열을 유발하는 방법은 콘크리트를 타설하기 전 쐐기를 삽입할 수 있는 관을 미리 설치해야함. 이때, 쐐기 삽입용 관의 직경은 삽입할 쐐기보다 약간 작은 직경의 관을 설치해야함(관에 쐐기를 삽입한 후 타격을 하면, 충격하중에 의해 관 주위 콘크리트에 인장균열이 발생하게 됨). 쐐기 삽입용 관의 위치는 균열 유발 후 앵커인발시험 시 콘크리트 콘파괴에 영향을 미치지 않는 범위 외에 설치해야 함.

② 본 실험방법은 전술한 균열유발방법(반복하중에 의한 균열유발방법)과 달리 균열을 형성하기에 매우 용이한 방법이지만 콘크리트 모재에 균열 형성 시 높은 시공성과 정확성이 요구됨. 쐐기를 삽입할 시 작업자가 햄머를 통해 쐐기를 타격하여 삽입하게 되는데 이는 연속적으로 작업할 경우 일정한 충격하중 및 타격 위치를 확보할 수 없게 되어 실험조건에 오류가 발생할 수 있음. 또한, 쐐기 주위로 복합적인 균열이 발생할 수 있어 원하는 방향의 균열을 유도할 수 없음.

③ 원하는 방향의 균열 유도를 위하여 균열을 유도할 수 있는 균열유도체를 계획해야 하고, 연속적인 작업이 수행될 경우 작업자(인력)의 균열형성 능력에는 한계가 있기 때문에 높은 정확성과 시공성을 확보할 수 있는 기계장비로 대체하여 일정한 폭의 균열을 형성하여야 함.



[그림 2.9.57] 쐐기삽입을 통한 균열유발방법

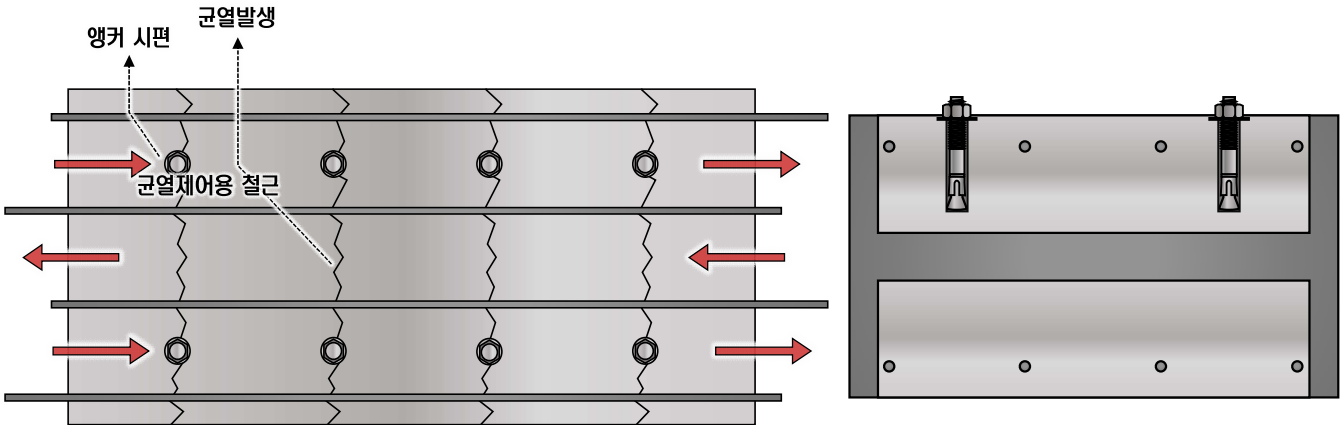
3) 철근 제어를 통한 콘크리트 균열유발방법

① 철근 제어를 통한 균열유발방법은 콘크리트를 타설하기 전, 내부 철근을 배근하고 콘크리트가 경화된 후 철근의 거동을 통해 균열을 유발하는 방법임. 철근에 하중을 가하게 되면 철근에 장력이 발생하게 되고, 이에 철근에 부착된 콘크리트가 철근과 일체 거동을 하면서 콘크리트에 균열을 형성하는 방법임. 이때, 철근은 앵커가 콘크리트에 저항하는 면적에 영향을 주지 않도록 배근을 해야 함.

② 본 실험방법은 철근의 거동에 의해 콘크리트에 균열이 발생하게 되며, 콘크리트와 철근의 부착력이 높을수록 철근 제어를 통해 균열을 유발하기 어려움. 또한, 본 연구에서 목표로 하는 균열폭은 0.3

㎜ ~ 0.5㎜로 콘크리트에선 치명적인 균열폭이지만, 육안으로 관찰하기엔 매우 미세한 균열폭임. 이로 인해 실험체 모재의 자중이 클수록 미세한 균열폭 제어가 어려우며, 철근과 콘크리트의 복원력에 의해 일정한 균열폭을 유지할 수가 없음.

③ 콘크리트의 균열을 제어하기 위하여 콘크리트 내부가 아닌 외부에서 유압기를 이용한 균열제어방법을 고려해야 함. 또한, 콘크리트와 철근의 복원력에 의해 유발한 콘크리트의 균열이 닫히지 않도록 철근과 콘크리트의 부착력을 감소하거나, 균열을 일정하게 유지할 수 있는 장치를 설치해야 함.



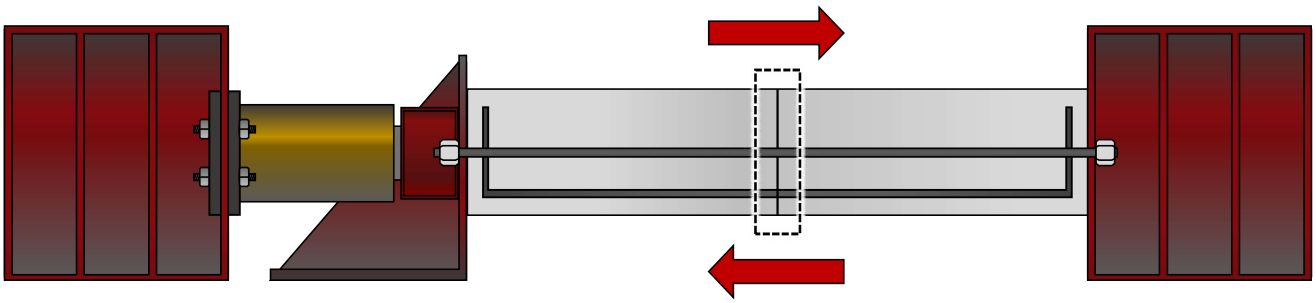
[그림 2.9.58] 철근 제어를 통한 균열유발방법

(3) 연구계획

○ 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템을 개발하기 위해 사전 기존문헌 및 자료조사를 수행하였음. 일반적으로 많이 사용되고 있는 반복하중을 통한 균열유발, 쐐기삽입을 통한 균열유발, 철근 제어를 통한 균열유발 방법에 대한 장단점을 분석하였고, 이를 개선하고 보완하여 새로운 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템을 계획하였음([그림 2.9.59] 참조).

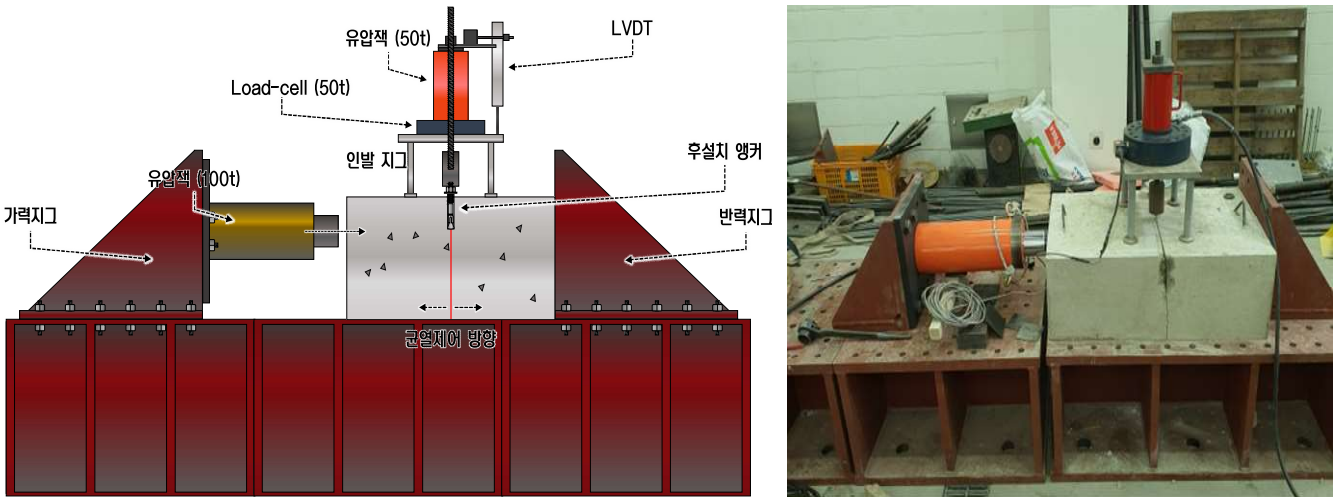
- 균열 콘크리트 실험체를 제작하기 위하여 900㎜×600㎜×300㎜규격의 거푸집을 제작함. 이때, 콘크리트의 균열유발을 위해 원하는 위치에 얇은 필름지를 거푸집에 고정하고, 콘크리트를 타설함. 콘크리트가 경화된 후 필름지를 제거하면 콘크리트 타설 전 설치한 필름지의 두께만큼 인위적인 균열을 형성할 수 있음.

- 본 연구에서 제시한 균열폭(0.3㎜ ~ 0.5㎜)을 형성하기 위해 전술한 시험체 모재 제작에 따라 필름지를 제거함. 이후 콘크리트 모재 양측에 가력지그와 반력지그를 설치하고, 양측 지그를 연결하는 전산볼트를 설치함(콘크리트 균열 유발 시 과도한 균열발생을 방지하기 위하여 전산볼트로 균열폭을 제어함). 이때, 가력지그에는 유압펌프를 설치하여 필름지로 인해 균열이 형성된 콘크리트 모재를 이동시켜 균열을 조정해야 함.



[그림 2.9.59] 균열보수성능을 확보한 후설치 앵커의 성능검증을 위한 실험시스템

- 실험 Set-up이 완료된 후, 콘크리트 게이지를 통해 목표 균열을 측정하고 앵커를 설치하여 비균열 콘크리트에서의 50% 이상의 성능을 확보하고 있는지 검증하였음.



[그림 2.9.60] 균열 콘크리트 실험시스템 Set-up

<표 2.9.47> 실험장비 현황

구분	실험장비	용량	수량
가력기	Oil-Jack and pump	500kN	1
균열제어기	Oil-Jack and pump	1,000kN	1
계측기	Load-cell	500kN	1
	LVDT	200㎜	1
	Concrete Crack Gauge	5㎜	2

(4) 개발한 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템 검토

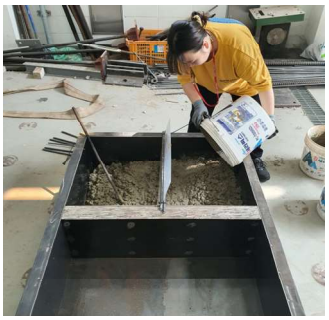
○ 균열보수성능을 가진 후설치 앵커의 성능검증실험을 위하여 국내외 문헌 및 자료조사를 통해 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템을 개발하였음. 이에 실험을 통해 개발한 균열시스템을 적용하여 후설치 앵커 인발시험을 수행하였고, 후설치 앵커의 균열보수성능검증과 균열 시스템이 제대로 작동하고 있는지 확인하였음(균열보수성능을 가진 후설치 앵커의 성능검증실험은 비균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 기준시험과 동일한 방법으로 수행하였음).

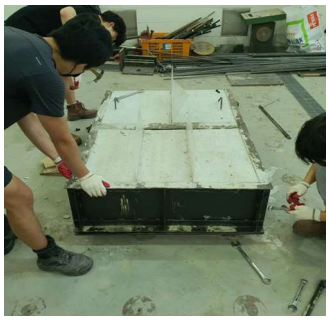
○ 균열 시스템 검토결과 (1차 및 2차 실험 수행 및 피드백)

- 본 균열 시스템을 검증하기 위하여 균열 콘크리트 실험체를 제작하였음. 콘크리트 타설 전 거푸집 중앙부에 균열을 유발할 수 있는 필름지를 설치한 후 콘크리트를 타설하였음. 콘크리트 강도는 일반강도 콘크리트인 24MPa로 계획하여 타설하였고, 콘크리트가 경화된 후 거푸집을 탈형하고 필름지를 제거하여 균열을 유발하였음.
- 본 연구에서 개발한 균열시스템을 검토하기 위하여 고안한 아이디어를 통해 균열 콘크리트 실험체를 제작하였음. 그러나, 콘크리트가 경화된 후 필름지를 제거하는 과정에서 균열을 유발하는데 문제점이 발생하였음.


① 거푸집 제작 및 설치


② 균열 유도체 설치


③ 콘크리트 타설

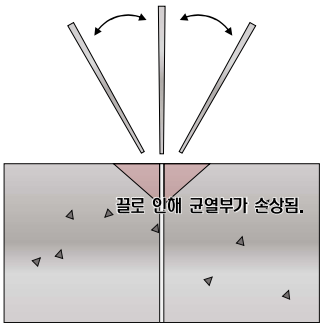

④ 양생 및 실험 Set-up

[그림 2.9.61] 1차 균열 콘크리트 실험체 제작

① 콘크리트가 경화된 후, 균열을 유도하기 위해 설치한 필름지(균열유도체)를 제거하는 과정에서 필름지가 콘크리트에 부착되어 콘크리트 내부에 이질재로 남게 되었음.

② 이질재로 남은 필름지를 완전히 제거하고, 균열을 형성하기 위하여 필름지를 제거한 뒤 생긴 틈에 끌을 삽입하여 균열부를 확장시켰음. 그러나, 균열부를 확장 시키기에는 콘크리트와 필름지가 완전히 부착되어 작업이 어려웠고, 이 과정에서 균열부를 강제적으로 확장시켜 콘크리트 모재의 균열면이 끌로 인해 파손되었음(후설치 앵커 설치 시 콘크리트 면이 고르지 못하면 시공환경이 불량하여 앵커의 성능을 확보할 수 없음).

③ 균열의 형성 여부를 확인하기 위하여 강제적으로 균열부를 확장시켜 균열을 형성한 결과, 콘크리트를 고르게 다짐하기 위해 사용한 바이브레이터의 영향으로 얇은 필름지의 일부를 손상시켰음. 이로 인해 균열을 형성하고 제어하는 과정에서 일정한 균열면을 확보하지 못해 본 연구의 목표인 균열폭 0.3㎜보다 더 큰 균열을 형성하게 되어 후설치 앵커에 대한 시험을 수행할 수 없었음.









[그림 2.9.62] 1차 균열 시스템 검토결과

- 1차 균열 시스템 검토결과에 따른 개선 및 보완사항을 분석한 결과, 쉽게 손상되는 필름지를 보완하였음. 기존에 사용한 필름지는 약 2㎜ 두께의 일반 플라스틱 재질 필름지였음. 균열을 용이하게 유발하고, 콘크리트 다짐 시 필름지가 손상되지 않도록 TPU(고무의 탄성을 가진 플라스틱)소재의 필름지로 교체하였고, 두께를 2㎜에서 4㎜로 더욱 두껍게 하여 균열을 유도할 시 끌에 의해 균열부가 손상되는 것을 방지하였음.

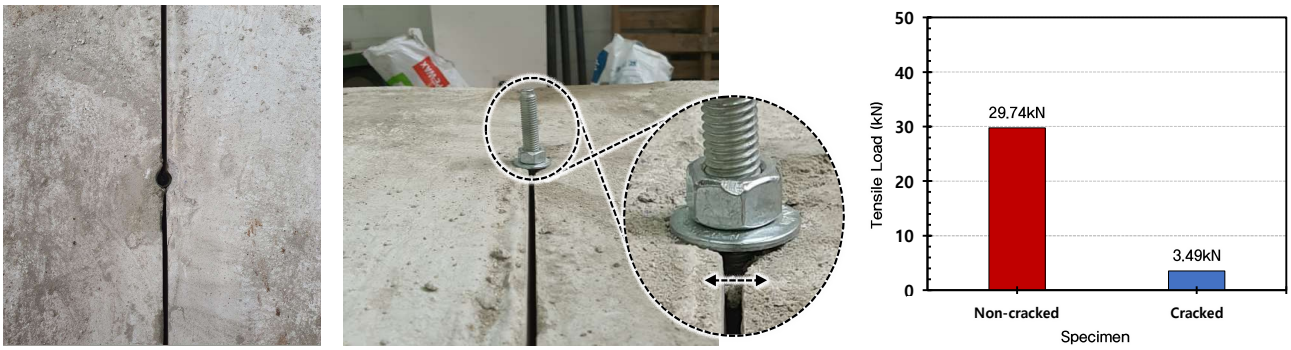


① 거푸집 제작 및 설치 ② 콘크리트 타설 ③ 양생 및 실험 Set-up

[그림 2.9.63] 2차 균열 콘크리트 실험체 제작

① 1차 실험을 보완한 결과, 재질 및 두께를 변경한 균열유도체로 인하여 콘크리트에 균열을 용이하게 유발할 수 있었음. 이후, 후설치 앵커의 균열보수성능을 검토하기 위해 M12의 후설치 앵커를 설치하였고 인발시험을 수행하였음. 비균열 콘크리트에서의 기준시험에 대한 시험방법을 따라 균열면에 후설치 앵커를 설치하였고, 비틀림력을 가한 뒤 앵커를 인발하였음. 균열 콘크리트에서의 인발시험결과, M12의 인발하중은 약 3.5kN으로 나타내어 비균열 콘크리트에서의 50% 동등이상의 성능을 나타내지 못하였음.

② 균열 콘크리트에서의 인발시험을 수행하는 과정에서, 균열폭을 일정하게 유지시키지 못하여 후설치 앵커의 내력이 확보되지 않았음. 균열을 유발한 후, 균열폭은 유압펌프를 이용하여 일정하게 조정하였는데 앵커를 설치하고 실험하는 과정에서 유압펌프의 유압이 빠져 균열폭을 일정하게 유지할 수 없었음. 균열폭이 넓어짐에 따라 앵커를 설치하기 위한 천공홀의 직경이 확장되었고, 이로 인해 후설치 앵커의 걸림력 및 마찰력이 충분히 작용하지 않아 앵커의 내력이 감소되었음.

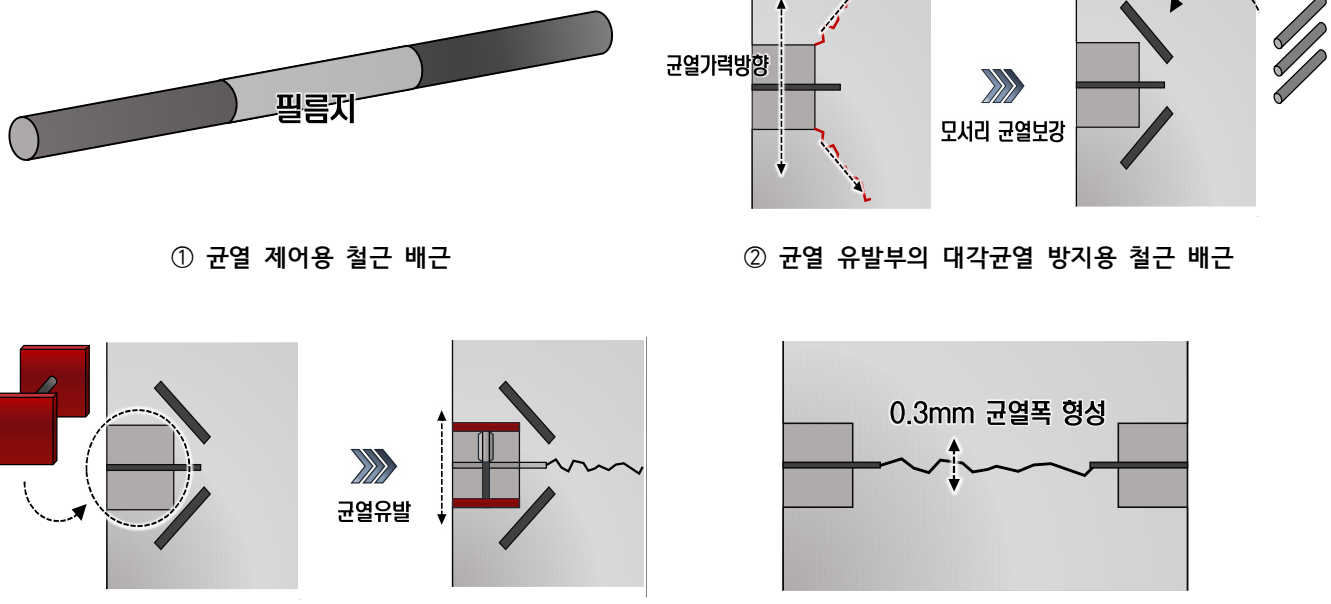


[그림 2.9.64] 2차 균열 시스템 검토결과

- 본 연구에서 개발한 균열시스템을 적용하여 후설치 앵커의 인발시험을 수행하였고, 개선 및 보완을 통하여 최종적인 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템을 구축하였음. 이에 고안해낸 균열시스템을 적용하여 슬리브 및 헤드부를 개선한 후설치 앵커(비틀림 제어 확장앵커)의 균열보수성능을 검토하였음.

(5) 균열 콘크리트 실험체 최종안

○ 국내외 균열 콘크리트 제작 및 균열유발방법에 대한 문헌 및 자료조사를 통해 균열 콘크리트 제작 및 균열유발을 위한 시스템을 개발하였음. 이에 개발한 균열 콘크리트 시스템을 적용하여 예비실험을 통해 개발한 균열시스템의 사용성을 평가하였음. 예비 실험결과, 균열유발방법 및 균열폭을 조정하는 부분에 있어 문제점이 발생하여 이를 보완하여 균열 콘크리트 실험체 최종안을 계획하였음. [그림 2.9.65] 및 [그림 2.9.66]은 균열 콘크리트 실험체 제작을 위한 상세안을 나타냈으며, 다음과 같은 조건에 따라 균열 콘크리트 실험체를 계획하였음. [그림 2.9.67]는 균열 실험체 제작도면을 나타내었음.



① 균열 제어용 철근 배근　② 균열 유발부의 대각균열 방지용 철근 배근

③ 균열유발장치 설치　④ 콘크리트 균열 측정 및 제어

[그림 2.9.65] 균열 콘크리트 실험체 제작안

① 균열 제어용 철근 배근

: 콘크리트 실험체의 균열을 유발하기 위해 균열유발장치를 이용하여 균열을 형성함. 이때, 균열유발장치를 통해 작용하는 하중이 콘크리트와 철근의 부착력보다 작으면 균열 유발 후 균열폭을 일정하게 유지할 수 없음. 따라서, 철근을 배근했을 때, 균열유도체와 동일한 위치에 철근과 콘크리트의 부착력을 감소시킬 수 있는 필름지를 부착하여 균열을 용이하게 제어할 수 있도록 하였음. 이때, 상·하부에 철근을 모두 배근하여 균열폭을 제어할 수 있도록 함.

② 균열 유발부의 대각균열 방지용 철근 배근

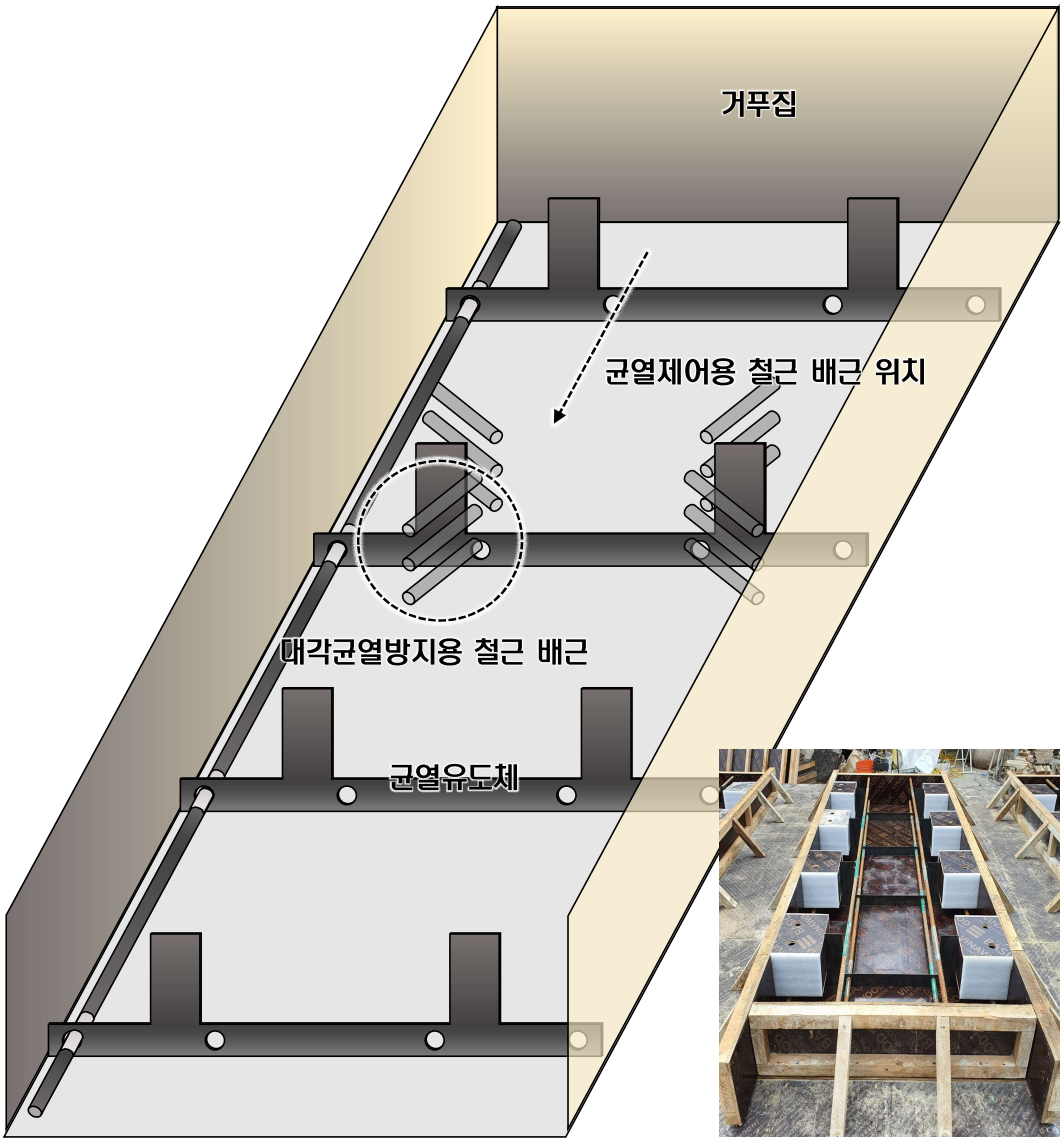
: 콘크리트 실험체의 균열 유발 시 균열유발장치를 설치하기 위해 콘크리트 단면을 일부 제거하여 균열유발부를 형성하였음. 이때, 균열유발장치를 이용하여 균열을 유발하게 되면 균열유도체를 따라 균열이 발생하지 않고, 균열유발부의 대각 방향으로 균열이 발생할 수 있음. 균열 유발 시 균열유발부에 균열을 허용하게 되면 의도한 균열유도체의 방향이 아닌 원하지 않는 방향으로 균열이 발생하게 되어 앵커의 설치 위치를 확보할 수 없게 됨. 또한, 복합적인 균열이 발생하게 되어 콘크리트의 성능을 저하시켜 후설치 앵커 실험 시 앵커의 내력을 저하시킬 수 있음. 이에 균열유발부의 대각방향으로 균열이 발생하는 것을 방지하기 위해 D10의 100㎜ 철근을 3개씩 설치하여 대각방향으로 발생할 수 있는 균열을 방지하였음.

③ 균열유발장치 설치

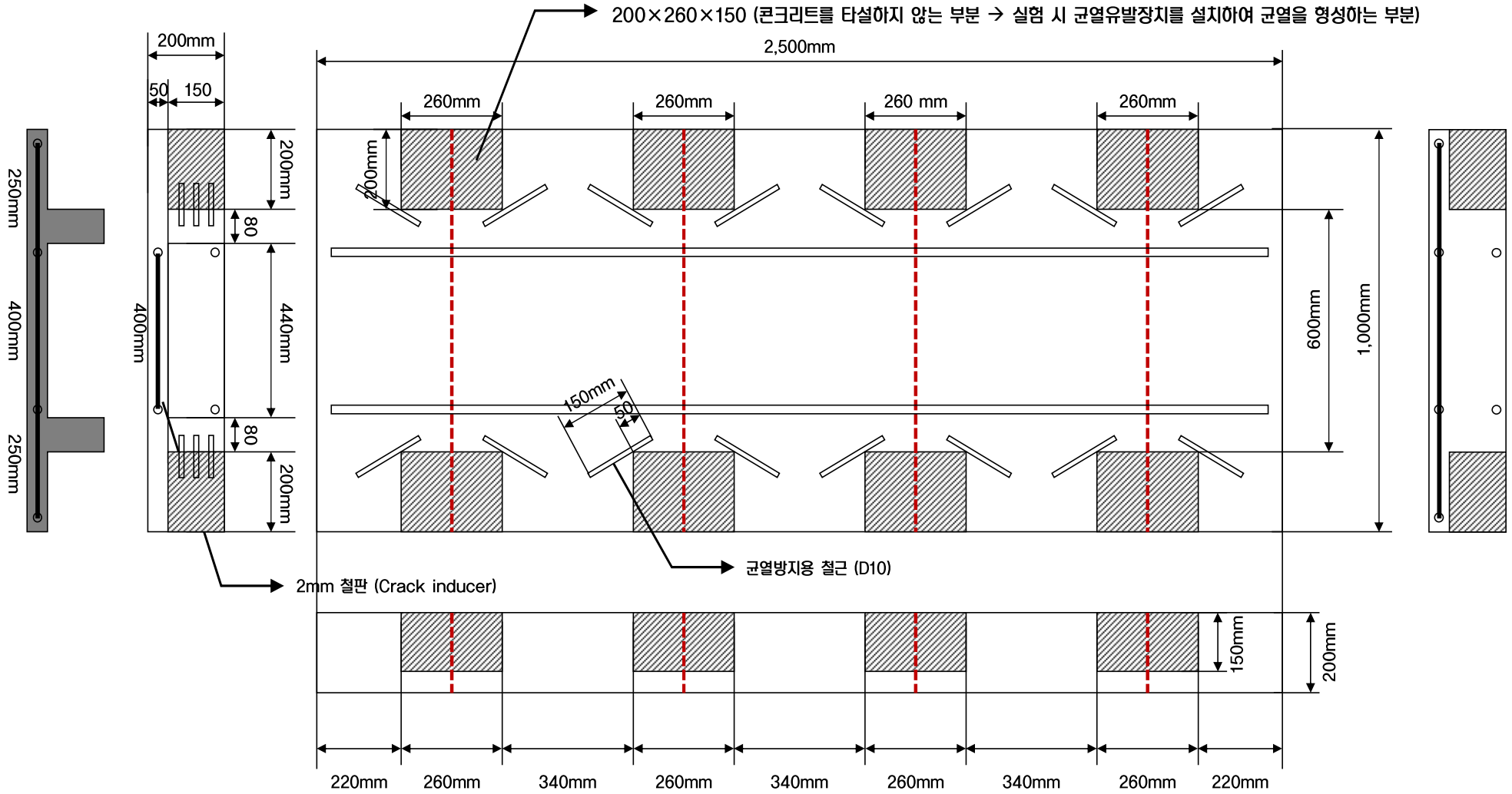
: 균열보수성능을 가진 후설치 앵커의 성능을 검토하기 위하여 후설치 앵커 설치 전·후로 균열폭은 일정하게 유지되어야 함. 본 연구에서는 예비실험을 통해 유압장비를 이용하여 균열폭을 제어하였으나, 유압장비의 특성상 시간이 지날수록 유압이 빠지게 되어 유발한 균열폭을 일정하게 유지할 수 없는 것을 확인하였으며, 이에 기계적인 방법을 이용한 균열유발장치를 개발하였음. 본 장치는 나사산의 회전력을 이용하여 균열을 유발하는 장치로써 균열 유발 후 콘크리트의 복원력에 의해 균열유발장치의 나사산들이 완전 밀착되어 균열폭이 감소되지 않고 일정한 균열폭을 유지할 수 있음.

④ 콘크리트 균열 측정 및 제어

: 콘크리트에 균열을 형성한 후 후설치 앵커를 설치하고 인발실험을 통해 앵커를 인발할 때까지 균열폭은 일정하게 유지되어야 함. 이에 본 연구에서는 일정한 균열폭을 제어하기 위하여 콘크리트용 균열변위계를 단변방향으로 2개 설치하여 콘크리트의 균열이 일정하게 유지되고 있는지 측정하였으며, 콘크리트 균열 게이지를 사용하여 육안으로도 균열폭을 측정하여 실험결과의 신뢰성을 향상시켰음.



[그림 2.9.66] 균열 콘크리트 실험체 상세



[그림 2.9.67] 균열 콘크리트 실험체 도면

(6) 균열보수성능을 가진 후설치 앵커의 성능평가계획

○ 본 연구에서는 균열이 발생한 콘크리트 구조물에서도 비틀림 제어 확장 앵커의 성능이 충분히 발휘할 수 있는지 검증하고자 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템을 개발하였고, 이를 적용하여 개선된 비틀림 제어 확장앵커가 균열보수성능을 가지고 있는지 검증하였음.

○ 국내외 문헌 및 자료조사, 예비시험을 통해 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템을 구축하였음. 이에 균열보수성능을 가진 후설치 앵커의 성능검증을 위한 균열 콘크리트 실험체 및 균열유발장치를 제작하였고, 1차년도에 수행한 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 실험 DB를 활용하여 성능검증실험을 수행하였음.

○ 균열보수성능을 가진 비틀림 제어 확장앵커의 성능검증실험을 위해 한국콘크리트학회에서 발간한 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'에 제시된 균열 콘크리트에서의 '앵커 시스템 평가를 위한 시험 프로그램'을 따라 성능검증실험을 수행하였음(<표 2.9.48> 참조).

<표 2.9.48> '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집' 앵커시스템 평가를 위한 시험 프로그램 (비균열, 균열 콘크리트)

시험 번호	목 적	내 용	균열폭 (㎜)	콘크리트 강도	부재 두께	드릴비트 지름	최소 시험체 수
기준시험							
1	비균열 저강도 콘크리트	인장-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커	-	저강도	≥ h_{min}	d_m	5
2	비균열 고강도 콘크리트	인장-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커	-	고강도	≥ h_{min}	d_m	5
3	균열 저강도 콘크리트	인장-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커	0.3	저강도	≥ h_{min}	d_m	5
4	균열 고강도 콘크리트	인장-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커	0.3	고강도	≥ h_{min}	d_m	5
신뢰성시험							
5	시공정밀도에 대한 민감도	인장-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커	0.3	앵커타입에 따라 다름	≥ h_{min}	d_m	5
6	균열폭과 큰 앵커 구멍에 대한 민감도	인장-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커	0.5	저강도	≥ h_{min}	d_{max}	5
7	균열폭과 작은 앵커 구멍에 대한 민감도	인장-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커	0.5	고강도	≥ h_{min}	d_{min}	5
8	폭이 변하는 균열에 설치된 앵커 시험	지속인장-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커, 잔류강도	0.1 ~0.3	저강도	≥ h_{min}	d_{max}	5
사용조건시험							
9	연단거리 $1.5h_{ef}$를 갖는 모서리에 설치된 앵커에 대한 콘크리트파괴강도의 검증	인장-연단거리 $1.5h_{ef}$를 갖는 모서리에 설치된 단일 앵커	-	저강도	h_{min}	d_m	4
10	앵커 설치시 쪼갬파괴를 방지하기 위한 최소간격과 연단거리	설치과정에서 발생되는 높은 인장(또는 비틀림) 또는 직접 인장-가장자리 가까이에 설치된 두 개의 앵커	-	저강도	h_{min}	d_m	35
11	앵커강재의 전단강도	전단-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커	-	저강도	≥ h_{min}	d_m	5
12	지진 인장	반복인장, 연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커	0.5		≥ h_{min}	d_m	5
13	지진 전단	반복전단, 연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커	0.5		≥ h_{min}	d_m	5

○ 균열보수성능을 가진 비틀림 제어 확장앵커 실험계획

- 본 연구의 시험대상인 비틀림 제어 확장앵커는 공동연구기관 ㈜원진의 앵커를 사용하여 실험을 수행하였음. 앵커의 설치를 위한 천공홀 깊이 및 유효묻힘깊이, 토크 값은 제조사에서 명시하고 있는 값을 따라 실험을 계획하였음. 특히, 균열이 발생한 콘크리트에서 앵커의 설치, 앵커의 실험 및 파괴모드(콘크리트 콘파괴)등을 고려하여 앵커 간에 영향을 주지 않도록 600㎜ 설치간격을 두어 앵커를 설치하였음.

- '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'에 제시된 균열 콘크리트에서의 앵커 성능실험에 제시된 시험기준을 따라 시험체를 계획하였음. 각 시험 항목별로 앵커의 성능을 검증하기 위한 균열폭은 콘크리트 균열 변위계 및 게이지를 사용하여 0.3㎜의 균열폭을 제어하였음.

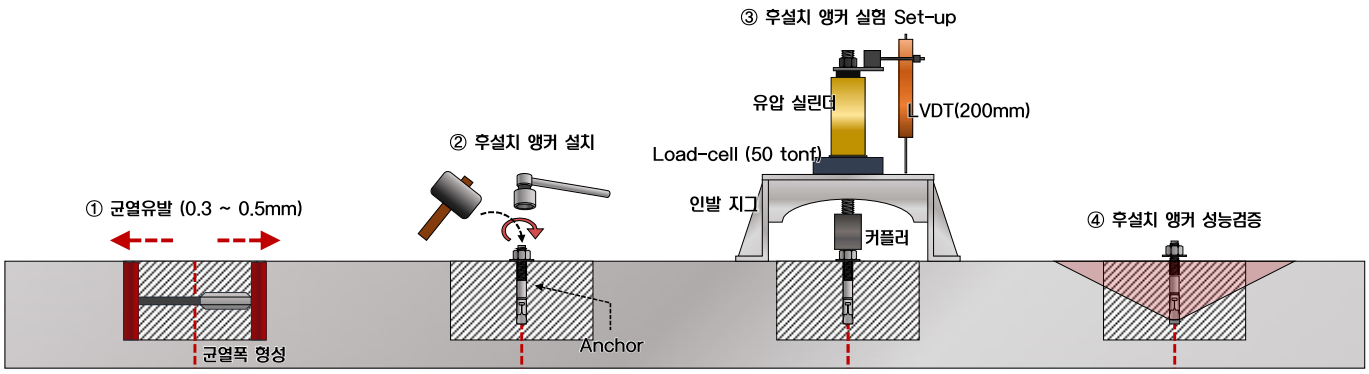
- 균열보수성능을 가진 비틀림 제어 확장앵커의 성능검증 실험방법은 다음과 같음.

① 균열유발장치를 사용하여 각 시험 항목의 균열폭을 유발하였음. 이때, 콘크리트 균열 변위계 및 게이지를 사용하여 균열폭을 제어하였고, 앵커 설치 및 실험종료까지 균열폭이 일정하게 유지될 수 있도록 제어하였음.

② 균열을 발생시키고 균열폭을 확인한 후 앵커를 설치하였음. 앵커의 설치는 제조사에서 명시하고 있는 방법을 따라 콘크리트 균열면 위에 천공을 하여 구멍을 뚫고, 앵커를 설치하였음. 앵커 설치 후 제조사에서 명시하고 있는 방법을 따라 각 직경별 앵커의 적정 토크 값을 가한 후 10분이 경과하면 토크를 완전히 제거하고 다시 50%의 토크를 가하여 앵커 설치를 완료하였음.

③ 비틀림 제어 확장앵커의 성능검증실험은 앵커의 나사산부에 연결철물(커플러)를 체결하고, 인발지그가 앵커의 축방향(중심)에 오도록 설치하였음. 인발지그에는 로드셀(500kN)을 결속하였으며, 로드셀 위로 유압실린더를 설치하고 전산볼트(M24)로 앵커-커플러-로드셀-유압실린더 순으로 일체화하였음. 유압실린더를 이용하여 인발하중을 가력한 후 로드셀로 하중 값을 측정하였고, LVDT(200㎜)는 인발지그에 고정하여 상대변위를 측정하였음.

④ 비틀림 제어 확장앵커의 성능검증실험은 후설치 앵커의 나사산부에 연결철물(커플러)를 체결하고, 인발지그가 앵커의 축방향(중심)에 오도록 설치하였음. 인발지그에는 로드셀(500kN)을 결속하였으며, 로드셀 위로 유압실린더를 설치하고 전산볼트(M24)로 앵커-커플러-로드셀-유압실린더 순으로 일체화하였음. 유압실린더를 이용하여 인발하중을 가력한 후 로드셀로 하중 값을 측정하였고, LVDT(200㎜)는 인발지그에 고정하여 상대변위를 측정하였음.



[그림 2.9.68] 균열 콘크리트에서의 실험 Set-up

○ 본 연구에서는 균열을 가진 후설치 앵커를 평가하기 위한 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템 구축, 이를 적용하여 균열을 가진 후설치 앵커의 성능평가를 목표로 하고 있음. 1차년도와 같이 각 직경별 앵커(M8, M10, M12, M16, M20)의 성능검증실험을 수행하려고 했으나, 코로나 19로 인한 연구수행이

지체된 점, 균열 콘크리트 시스템 구축 및 시스템 검증 등 사전연구 기간이 길어 모든 앵커에 대한 성능검증실험이 어렵다고 판단하였음. 이에 본 연구에서는 실무에서 가장 많이 사용하고 있는 앵커(M16, M20)를 우선으로 하여 연구를 수행하였음.

○ '기준시험'은 콘크리트 강도에 따른 앵커의 인발시험을 수행하여 신뢰성 및 사용조건시험에 대한 기준값을 평가하기 위해 수행함. 기준시험의 경우, 시험결과에 대한 변동계수가 극한인장하중의 변동계수 허용기준인 15% 이내를 만족해야함.

- 균열 콘크리트에 대한 기준시험은 시험번호 ③, ④에 해당되며, 균열을 가진 후설치 앵커의 콘크리트 강도에 따른 순수 인발성능을 검토하기 위한 시험으로 단일 앵커에 대한 시험임. 본 연구에서는 앵커의 순수 인발성능을 검토하고 시혐결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 기준에 제시된 콘크리트 투영파괴면적($1.5h_{ef}$)에 영향을 미치지 않도록 앵커 사이의 간격은 $3.0h_{ef}$이상으로 계획하여 앵커를 설치한 후 실험을 수행하였음. 또한, 균열은 시험기준을 따라 0.3㎜로 유발하였고, 앵커 설치 전 · 후로 균열폭을 측정하여 시험조건을 만족하도록 하였음.

○ '신뢰성시험'은 앵커 설치 시 또는 사용 시 정상상황 또는 불리한 조건에서 앵커가 유효한 거동을 할 수 있는 검증하기 위해 수행함. '신뢰성시험'의 경우, 시공정밀도에 대한 시험, 큰 드릴비트를 갖는 저강도 콘크리트에서의 시험, 작은 드릴비트를 갖는 고강도 콘크리트에서의 시험, 반복하중에 대한 시험 등이 있음. 신뢰성시험의 경우, 시험결과에 대한 변동계수가 극한인장하중의 변동계수 허용기준인 20% 이내를 만족해야함.

- 신뢰성시험은 시험번호 ⑥, ⑦, ⑧에 해당되며, 실제 현장에서 발생할 수 있는 불리한 상황에 설치되거나 사용하는 있는 후설치 앵커의 시공정밀도를 검증하기 위한 시험임.

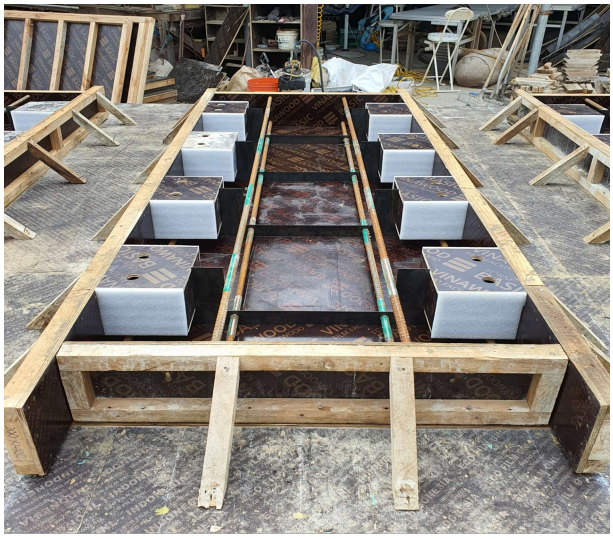
- 시험번호 ⑥, ⑦은 1차년도 비균열 콘크리트에서의 시험번호 ④, ⑤과 동일한 조건의 시험임. 다만, 균열 콘크리트에서의 앵커 성능검증시험으로 시험기준을 따라 0.5㎜의 균열을 유발하여 시험을 수행하였음. 콘크리트 모재에 균열을 유발한 후, 시험기준을 따라 각 직경별 앵커의 큰 구멍 및 작은 구멍의 드릴비트를 사용하여 앵커를 설치하였음. 앵커는 균열이 앵커축을 가로지를 수 있도록 균열면 직각방향으로 설치하였으며, 실험 전 · 후로 균열폭을 측정하여 시험조건을 만족하도록 하였음.

- 시험번호 ⑧은 균열폭이 주기적으로 변하는 위치에 설치된 앵커의 성능을 검증하는 시험임. 주기적인 균열폭은 시험기준을 따라 0.1 ~ 0.3㎜의 균열폭을 주기적으로 형성하여 실험을 수행하였음. 이때, 균열폭 측정 시 시험결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 균열폭 오차범위는 ±0.03㎜로 하였고, 모니터링 및 균열게이지 값을 측정하여 시험조건을 만족하도록 하였음.

○ 균열보수성능을 가진 비틀림 제어 확장앵커의 성능을 검증하기 위한 균열 콘크리트 실험체 제작은 다음과 같으며, 거푸집 제작 → 균열유도체 설치 → 균열제어용 철근 배근 → 균열유발부 거푸집 설치 → 콘크리트 타설 → 균열유발부 대각균열방지용 철근 배근 → 양생 순으로 진행하였음([그림 2.9.69] 참조).



① 균열유도체 및 거푸집 제작



② 균열형성장치 배치부 확보 및 철근배근



③ 콘크리트 타설



④ 대각균열 보강용 철근 설치



⑤ 콘크리트 양생



⑥ 실험체 입고

[그림 2.9.69] 균열 콘크리트 실험체 제작과정

○ 균열보수성능을 가진 비틀림 제어 확장앵커의 성능검증실험은 다음과 같으며, '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'에 제시된 균열 앵커 프로그램을 따라 실험을 수행하였음([그림 2.9.70] 참조).



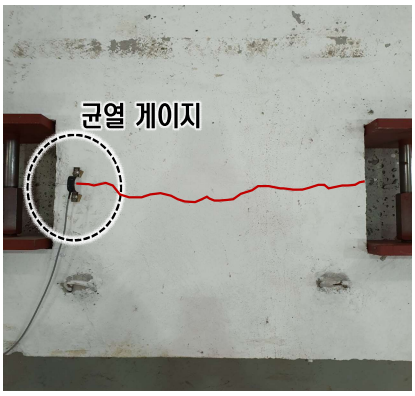
① 균열 콘크리트 실험체 배치

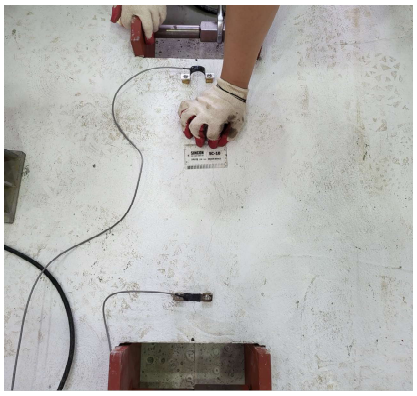


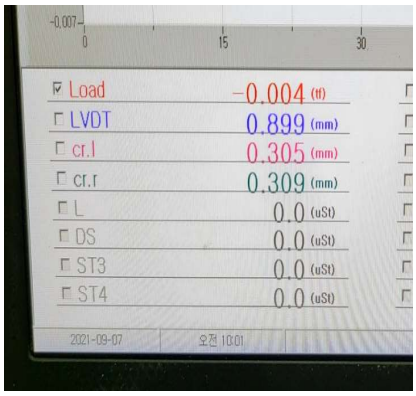
② 균열유발장치 설치



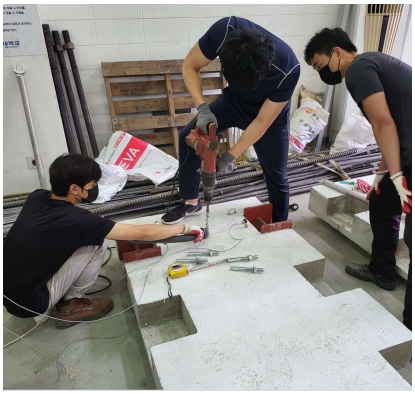
③ 목표 균열 유발

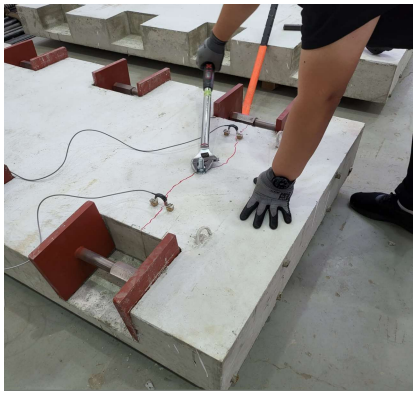




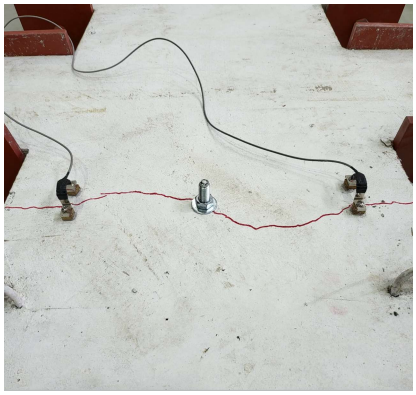


④ 목표 균열 측정 및 균열폭 제어 (콘크리트용 균열 변위계 및 콘크리트 크랙 게이지)





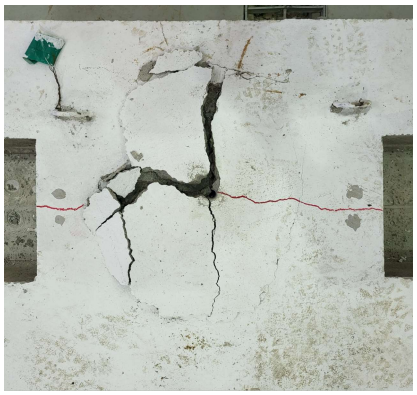
⑤ 후설치 앵커 설치 (천공 → 홀 청소 → 앵커 삽입 → 토크 적용)



⑥ 후설치 앵커 설치 완료



⑦ 후설치 앵커 실험





⑧ 균열보수성능을 가진 비틀림 제어 확장앵커 성능검증

[그림 2.9.70] 균열 콘크리트에서의 비틀림 제어 확장앵커 실험과정

○ 균열보수성능을 가진 비틀림 제어 확장앵커의 성능검증실험을 위해 설계강도를 산정하기 위하여 1차년도 비균열 콘크리트에서 수행했던 인장강도 설계식을 이용하여 균열상황에 대한 후설치 앵커의 설계강도를 참조하였음. 또한, 연구목표를 따라 비균열 콘크리트에서의 50% 성능을 설계강도에 반영하여 균열상황에서의 후설치 앵커 설계인장강도로 계획하였으며, 1차년도에 수행한 비균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 실험DB를 활용하여 균열상황에서의 실험DB와 비교하여 비틀림 제어 확장앵커의 균열보수성능을 검증하였음(<표 2.9.49> 참조).

<표 2.9.49> 각 직경별 앵커의 설계강도 산정

Content	f_{ck}(MPa)	M16				M20			
		Design Value(kN)		Test Value(kN)		Design Value(kN)		Test Value(kN)	
		100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%
Tensile Load (kN)	21	25.8	12.9	59.5	29.8	35.1	17.6	73.1	36.6
	45	35.6	17.8	79.5	39.8	48.4	24.2	90.2	45.1

○ '기준시험'은 균열이 발생한 콘크리트에서 콘크리트 강도에 따른 앵커의 인발시험을 수행하여 신뢰성 및 사용조건시험에 대한 기준값을 평가하기 위해 수행함. 기준시험의 경우, 시험결과에 대한 변동계수가 극한인장하중의 변동계수 허용기준인 15% 이내를 만족해야 함.

○ '신뢰성시험'은 균열이 발생한 콘크리트에서 앵커 설치 시 또는 사용 시 정상상황 또는 불리한 조건에서 앵커가 유효한 거동을 할 수 있는 검증하기 위해 수행함. '신뢰성시험'의 경우, 시공정밀도에 대한 시험, 큰 드릴비트를 갖는 저강도 콘크리트에서의 시험, 작은 드릴비트를 갖는 고강도 콘크리트에서의 시험, 반복하중에 대한 시험 등이 있음. 신뢰성시험의 경우, 시험결과에 대한 변동계수가 극한인장하중의 변동계수 허용기준인 20% 이내를 만족해야 함.

<표 2.9.50> 균열 콘크리트에서의 비틀림 제어 확장앵커 성능평가시험 계획

시험번호	시험내용	f_{ck} (MPa)	시험체 개수
기준시험			
3	균열 저강도 콘크리트에서의 인발시험	21	5
4	균열 고강도 콘크리트에서의 인발시험	45	5
신뢰성시험			
6	균열 콘크리트에서의 큰 앵커 구멍에 대한 민감도 인발시험	21	5
7	균열 콘크리트에서의 작은 앵커 구멍에 대한 민감도 인발시험	45	5
8	균열폭이 주기적으로 변하는 콘크리트에서의 앵커 인발 및 잔류강도시험	21	5

(7) 재료시험결과

○ 앵커 강재시험

- 전문기관에 의뢰하여 앵커 소재에 대한 인장시험을 수행하였고 <표 9.50>에 앵커 강재 물성을 나타내었음. 시험 결과는 시험체 3개에 대한 평균값임.

- 앵커 강재의 성능은 연신율 14% 이상, 단면수축률 30% 이상을 요구하고 있는데 강재 시험결과 <표 9.50>와 같이 요구 성능을 만족하는 것으로 나타났음.

<표 2.9.51> 앵커 강재 특성시험

직경(㎜)	인장강도(MPa)	항복강도(MPa)	연신율(%)	단면수축률(%)	인장유효단면적(㎟)
8	900.0	800.0	20.0	42.7	20.1
10	871.0	757.0	20.3	42.3	36.6
12	905.7	783.7	20.3	52.7	84.3
16	915.3	794.7	17.3	53.3	156.7
20	907.5	789.4	20.1	53.2	244.8

○ 콘크리트 압축강도 시험

- 균열을 가진 후설치 앵커의 성능평가를 위한 콘크리트 모재의 강도는 ‘콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집’에 제시되어 있는 시험기준을 따라 저강도 콘크리트 21MPa, 고강도 콘크리트 45MPa로 계획하였음.

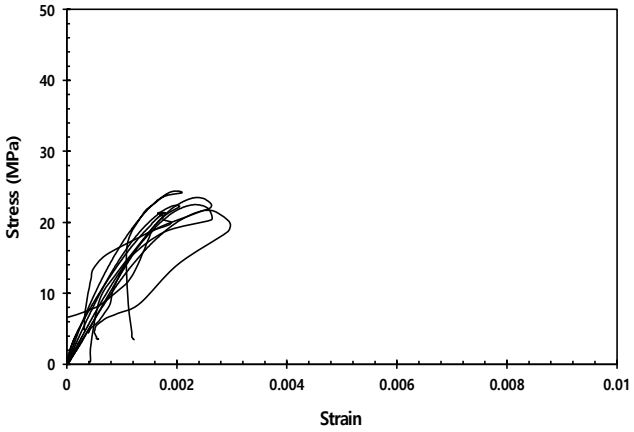
- 콘크리트 모재의 강도를 평가하기 위해 콘크리트 공시체 압축강도시험을 수행하였음. 콘크리트 압축강도 시험을 위한 공시체는 KS F 2404에 따라 100㎜×200㎜(직경×높이)의 원통형 실린더 몰드로 제작하였음. 콘크리트 공시체는 3일이 지난 후에 탈형하여 본 시험체와 동일한 조건(대기양생)에서 양생하였음. 28일 양생을 완료한 후 콘크리트 압축강도시험을 수행한 결과, 저강도 콘크리트는 22.7MPa, 고강도 콘크리트는 45.3MPa로 나타나 기준에 제시된 시험조건을 만족하였음.



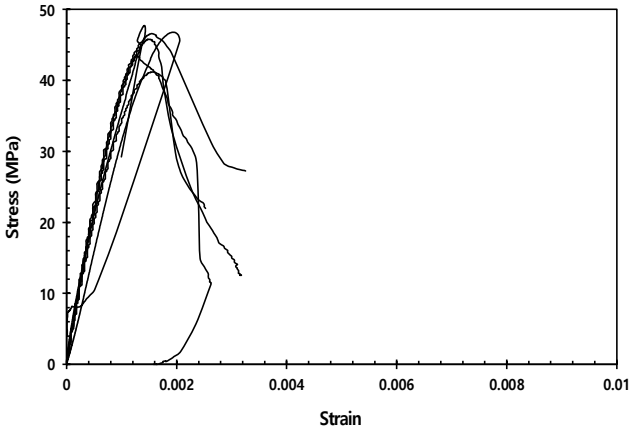
[그림 2.9.71] 콘크리트 공시체 압축강도시험

<표 2.9.52> 콘크리트 압축강도시험결과

Specimen	Low strength concrete(MPa)	High strength concrete(MPa)
1	21.4	43.4
2	23.5	45.8
3	22.5	41.2
4	22.4	46.6
5	21.7	46.8
6	24.4	47.7
Average	22.7	45.3



[그림 2.9.72] 저강도 콘크리트 압축강도시험결과



[그림 2.9.73] 고강도 콘크리트 압축강도시험결과

(8) 균열보수성능을 가진 비틀림 제어 확장앵커의 성능검증실험

○ 본 연구에서는 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템을 개발하였고, 이 시스템을 적용하여 1차년도에 개발한 정착성능이 향상된 비틀림 제어 확장앵커가 균열보수성능을 확보하고 있는지 그 성능을 검증하였음. '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'에 제시된 균열 앵커시스템을 따라 성능검증실험을 수행하였으며, 각 시험항목(기준시험, 신뢰성시험) 중 1차년도에 수행한 실험DB를 활용할 수 있는 시험항목 외 나머지 시험항목에 대한 앵커성능검증 실험을 수행하였음.

- 시험번호 ③ (기준시험 / 균열 저강도 콘크리트)

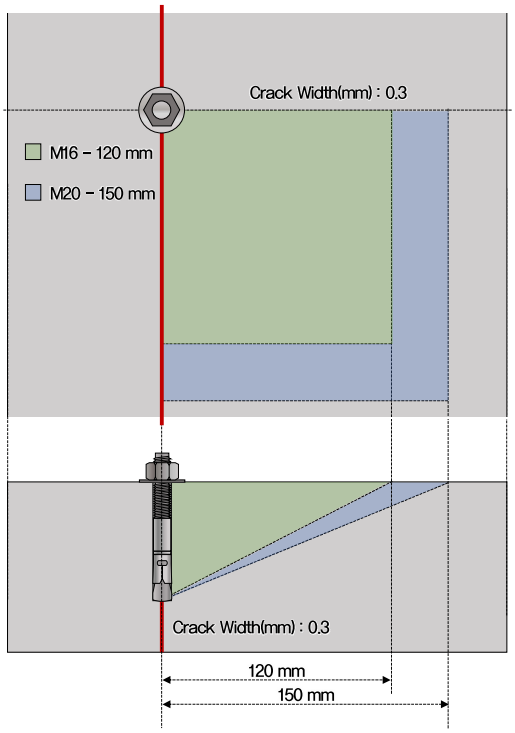
① 균열 저강도 콘크리트에서의 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 4.3 ~ 7.2%로 나타나 기준시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 15% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음.

② 균열 저강도 콘크리트에서의 인발시험결과, 각 직경별 앵커의 성능은 설계강도 대비 약 273 ~ 340% 높게 나타났으며, 평균인발하중도 비균열 상황에서의 약 50% 성능보다 약 118 ~ 150% 높게 나타내어 균열이 발생한 콘크리트에서도 후설치 앵커의 성능이 충분히 확보되었음을 알 수 있었음.<표 2.9.55>는 시험결과를 나타낸 것이고, [그림 2.9.74]는 각 직경별 앵커의 인발하중을 나타낸 것임.

- 시험번호 ④ (기준시험 / 균열 고강도 콘크리트)

① 균열 고강도 콘크리트에서의 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 4.0 ~ 7.7%로 나타나 기준시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 15% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음.

② 균열 고강도 콘크리트에서의 인발시험결과, 각 직경별 앵커의 성능은 설계강도 대비 약 233 ~ 310% 높게 나타났으며, 평균인발하중도 비균열 상황에서의 약 50% 성능보다 약 114 ~ 166% 높게 나타나 후설치 앵커의 균열보수성능이 충분히 확보되었음을 알 수 있었음. <표 2.9.56>는 시험결과를 나타낸 것이며, [그림 2.9.75]은 각 직경별 앵커의 인발하중을 나타낸 것임.



<표 2.9.53> 시험번호 ③ 인발시험결과

D(㎜)	N_{design}(kN)		$N_{nc,test}$(kN)		$N_{c,test}$(kN)		
	100%	50%	100%	50%	Avg	Stdev	CoV(%)
M16	25.8	12.9	59.6	29.8	35.2	1.5	4.3
M20	35.1	17.6	79.5	39.8	59.6	4.3	7.2

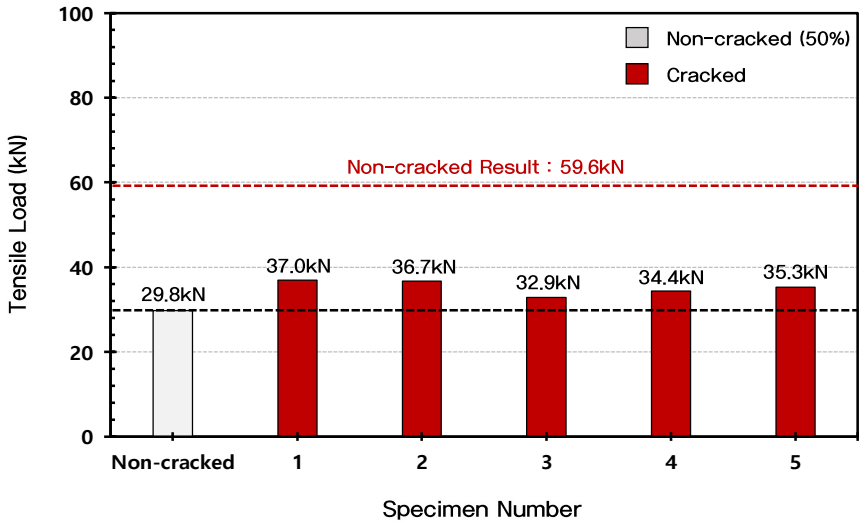
<표 2.9.54> 시험번호 ④ 인발시험결과

D(㎜)	N_{design}(kN)		$N_{nc,test}$(kN)		$N_{c,test}$(kN)		
	100%	50%	100%	50%	Avg	Stdev	CoV(%)
M16	35.6	17.8	73.1	36.6	41.5	1.7	4.0
M20	48.4	24.2	90.2	45.1	75.1	5.8	7.7

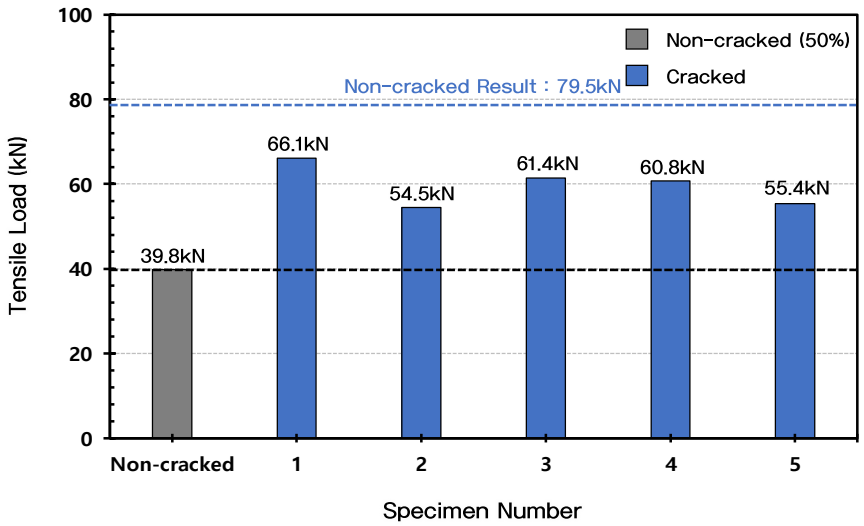
<표 2.9.55> 시험번호 ③ 시험결과

f_{ck}(MPa)	21	Test Number ③					
Crack(㎜)	0.3						
D(㎜)		16			20		
h_{ef}(㎜)		80			100		
Result		Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode
Specimen	1	37.0	8.3	CB	66.1	16.6	CB
	2	36.7	11.2	CB	54.5	13.7	CB
	3	32.9	11.8	CB	61.4	14.1	CB
	4	34.4	8.5	CB	60.8	16.9	CB
	5	35.3	15.7	CB	55.4	9.9	CB
Average(kN)		35.2	11.1	-	59.6	13.9	-
Stdev		1.5			4.3		
CoV(%)		4.3			7.2		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout



(a) M16 인발하중 비교



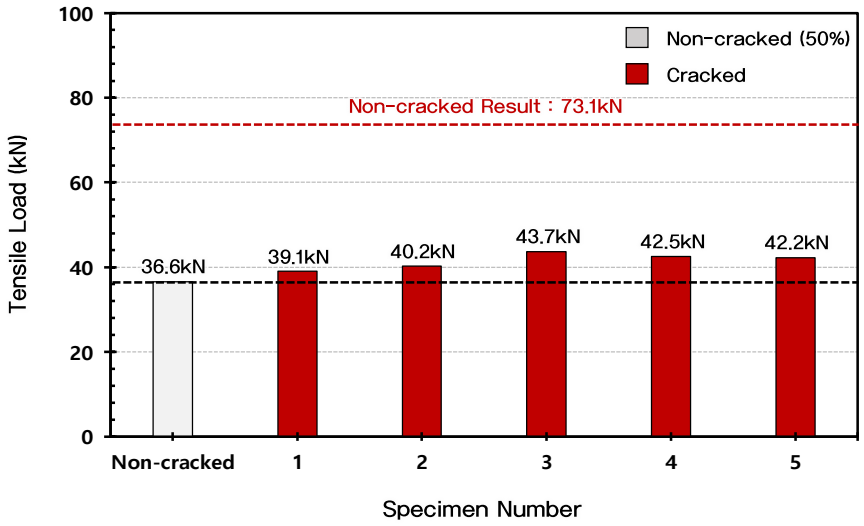
(b) M20 인발하중 비교

[그림 2.9.74] 시험번호 ③ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교)

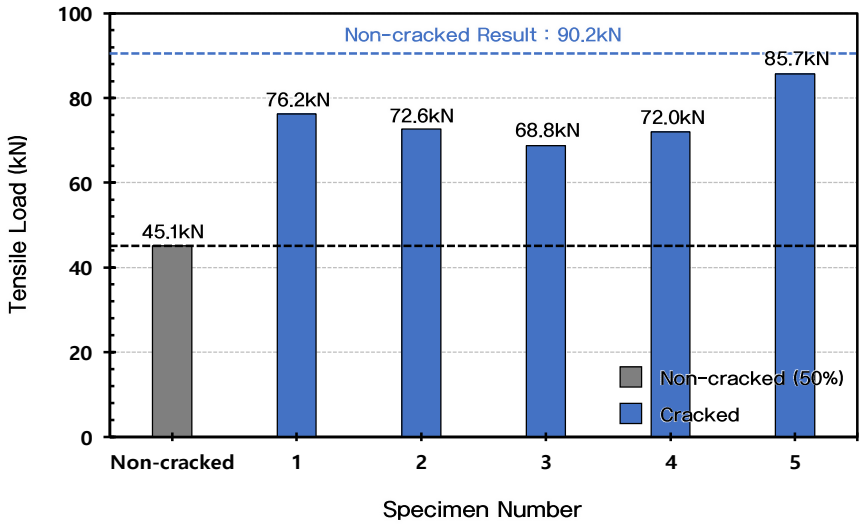
<표 2.9.56> 시험번호 ④ 시험결과

f_{ck}(MPa)	45	Test Number ④					
Crack(㎜)	0.3						
D(㎜)		16			20		
h_{ef}(㎜)		80			100		
Result		Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode
Specimen	1	39.1	9.3	CB	76.2	15.0	CB
	2	40.2	14.0	CB	72.6	20.7	CB
	3	43.7	10.0	CB	68.8	15.0	CB
	4	42.5	8.8	CB	72.0	21.7	CB
	5	42.2	9.4	CB	85.7	17.3	CB
Average(kN)		41.5	10.3	-	75.1	17.3	-
Stdev		1.7			5.8		
CoV(%)		4.0			7.7		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout



(a) M16 인발하중 비교



(a) M16 인발하중 비교

[그림 2.9.75] 시험번호 ④ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교)

- 시험번호 ⑥ (신뢰성시험 / 균열 저강도 큰 앵커 구멍에 대한 민감도)

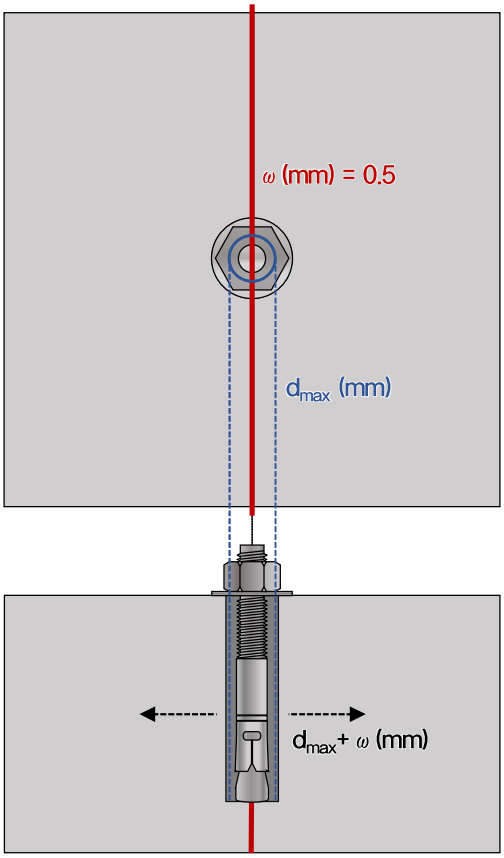
① 본 시험은 불리한 설치조건에서 설치된 앵커의 민감도를 검증하기 위한 시험으로, 각 직경별 앵커의 적정 드릴비트(d_m)보다 큰 드릴비트 사용하여 인발실험을 수행하였음. 본 시험은 균열 저강도 콘크리트에서 수행하며, 드릴비트의 요구 지름은 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'에 제시된 드릴비트 요건을 따름.

② 균열 저강도 콘크리트에서 큰 앵커 구멍에 대한 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 7.0 ~ 7.3%로 나타나 신뢰성시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음.

③ 균열 저강도 콘크리트에서 큰 앵커 구멍에 대한 M16 후설치 앵커의 인발시험을 수행한 결과, 변동계수는 7.0%로 나타나 신뢰성시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20%이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 또한, 균열상황에서의 평균인발하중(33.0kN)이 비균열 콘크리트에서의 설계강도($N_{design,50\%}$=12.9kN) 및 실험결과($N_{test,50\%}$=15.1kN)보다 높게 나타났음.

④ 균열 저강도 콘크리트에서 큰 앵커 구멍에 대한 M20 후설치 앵커의 인발시험을 수행한 결과, 변동계수는 7.3%로 나타나 신뢰성시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20%이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 또한, 균열상황에서의 평균인발하중(52.9kN)이 비균열 콘크리트에서의 설계강도($N_{design,50\%}$=17.6kN) 및 실험결과($N_{test,50\%}$=18.1kN)보다 높게 나타났음. <표 2.9.58>은 시험결과를 나타낸 것이며, [그림 2.9.77]는 각 직경별 앵커의 인발하중을 나타내었음.

⑤ 균열 저강도 콘크리트에서의 큰 앵커 구멍에 대한 인발실험은 각 직경별 앵커 모두 비균열 상황에서의 설계값 및 실험값을 모두 상회하였음. 이에 표준직경보다 큰 구멍과 0.5㎜ 균열 발생으로 인해 더욱 확장된 설치 홀에서도 앵커가 충분한 내력과 균열보수성능을 확보하고 있음을 알 수 있었음.



M16				M20			
							
d_{max}		16.45 ~ 16.50		d_{max}		20.50 ~ 20.55	
d_a	16.00	$d_{max,test}$	16.50	d_a	20.00	$d_{max,test}$	20.56

[그림 2.9.76] 큰 앵커 구멍 직경 측정

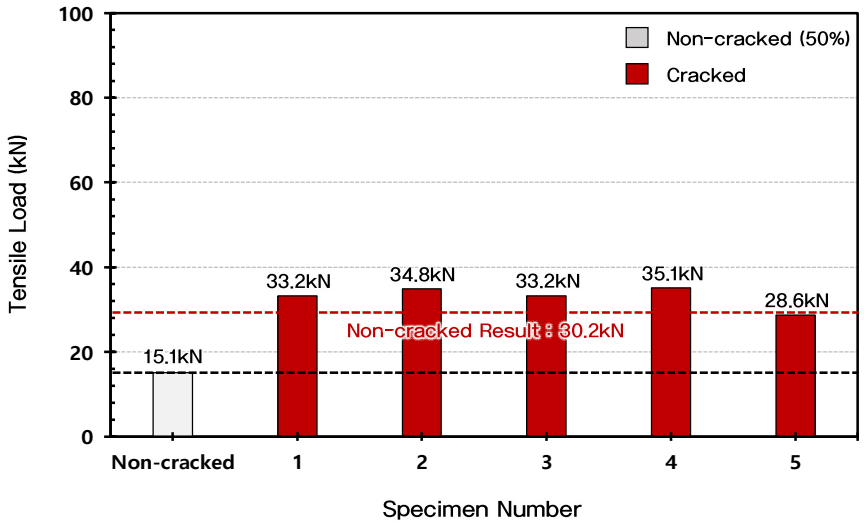
<표 2.9.57> 시험번호 ⑥ 인발시험결과

D(㎜)	N_{design}(kN)		$N_{nc,test}$(kN)		$N_{c,test}$(kN)		
	100%	50%	100%	50%	Avg	Stdev	CoV(%)
M16	25.8	12.9	30.2	15.1	33.0	2.3	7.0
M20	35.1	17.6	36.3	18.1	52.9	3.9	7.3

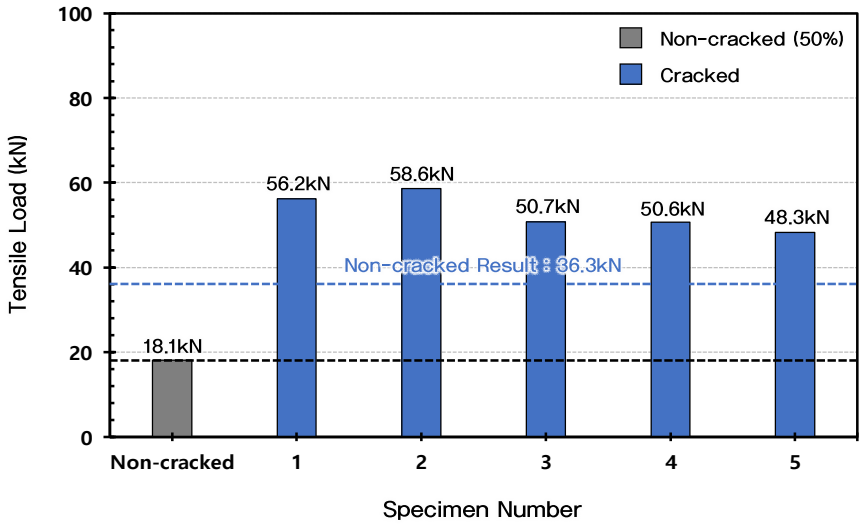
<표 2.9.58> 시험번호 ⑥ 시험결과

f_{ck}(MPa)	24	Test Number ⑥					
Crack(㎜)	0.5						
D(㎜)		16			20		
h_{ef}(㎜)		80			100		
Result		Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode
Specimen	1	33.2	15.3	CB	56.2	15.7	CB
	2	34.8	13.4	CB	58.6	14.1	CB
	3	33.2	12.9	CB	50.7	12.0	CB
	4	35.1	12.2	CB	50.6	16.3	CB
	5	28.6	9.3	CB	48.3	18.0	CB
Average(kN)		33.0	12.6	-	52.9	15.2	-
Stdev		2.3			3.9		
CoV(%)		7.0			7.3		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout



(a) M16 인발하중 비교



(b) M20 인발하중 비교

[그림 2.9.77] 시험번호 ⑥ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교)

- 시험번호 ⑦ (신뢰성시험 / 균열 고강도 작은 앵커 구멍에 대한 민감도)

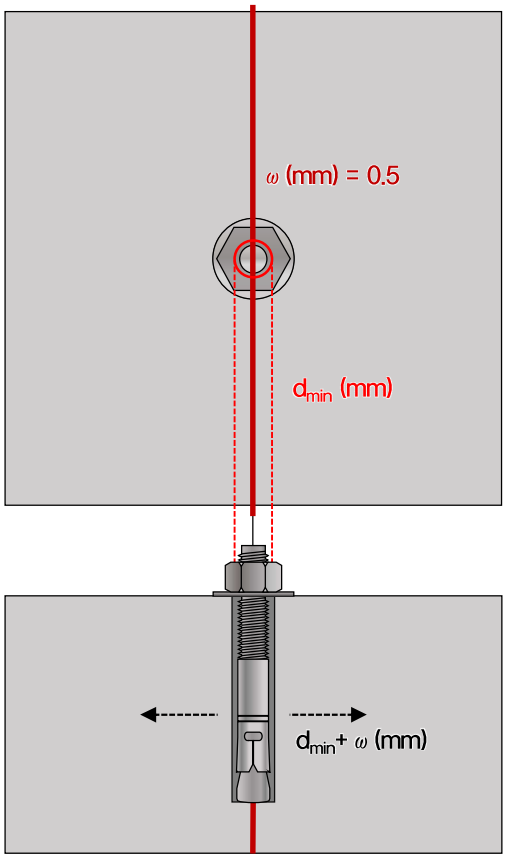
① 본 시험은 불리한 설치조건에서 설치된 앵커의 민감도를 검증하기 위한 시험으로, 각 직경별 앵커의 적정 드릴비트(d_m)보다 작은 드릴비트 사용하여 인발실험을 수행하였음. 본 시험은 균열 고강도 콘크리트에서 수행하며, 드릴비트의 요구 지름은 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'에 제시된 드릴비트 요건을 따름.

② 균열 고강도 콘크리트에서 작은 앵커 구멍에 대한 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 10.3 ~ 10.5%로 나타나 신뢰성시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음.

③ 균열 고강도 콘크리트에서 작은 앵커 구멍에 대한 M16 후설치 앵커의 인발시험을 수행한 결과, 변동계수는 10.3%로 나타나 신뢰성시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20%이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 또한, 균열상황에서의 평균인발하중(45.7kN)이 비균열 콘크리트에서의 설계강도($N_{design,50\%}$=17.8kN) 및 실험결과($N_{test,50\%}$=17.6kN)보다 높게 나타났음.

④ 균열 고강도 콘크리트에서 작은 앵커 구멍에 대한 M20 후설치 앵커의 인발시험을 수행한 결과, 변동계수는 10.5%로 나타나 신뢰성시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20%이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 또한, 균열상황에서의 평균인발하중(59.2kN)이 비균열 콘크리트에서의 설계강도($N_{design,50\%}$=24.2kN) 및 실험결과($N_{test,50\%}$=28.3kN)보다 높게 나타났음. <표 2.9.60>은 시험결과를 나타낸 것이며, [그림 2.9.79]는 각 직경별 앵커의 인발하중을 나타내었음.

⑤ 균열 고강도 콘크리트에서의 작은 앵커 구멍에 대한 인발실험은 각 직경별 앵커 모두 비균열 상황에서의 설계 값 및 실험 값을 모두 상회하였음. 앵커의 설치 구멍은 0.5㎜ 균열로 인해 표준직경보다 확장되었지만, 작은 구멍의 드릴비트를 사용함에 따라 앵커의 설치 홀이 표준직경과 유사한 크기를 가지게 되었음. 또한, 고강도 콘크리트를 사용하여 앵커가 콘크리트에 저항하는 능력이 향상되었기 때문에 균열상황에서도 충분한 내력과 균열보수성능을 확보하고 있음을 알 수 있었음.



M16				M20			
							
d_{min}		16.10 ~ 16.20		d_{min}		20.10 ~ 20.20	
d_a	16.00	$d_{min,test}$	16.17	d_a	20.00	$d_{min,test}$	20.19

[그림 2.9.78] 작은 앵커 구멍 직경 측정

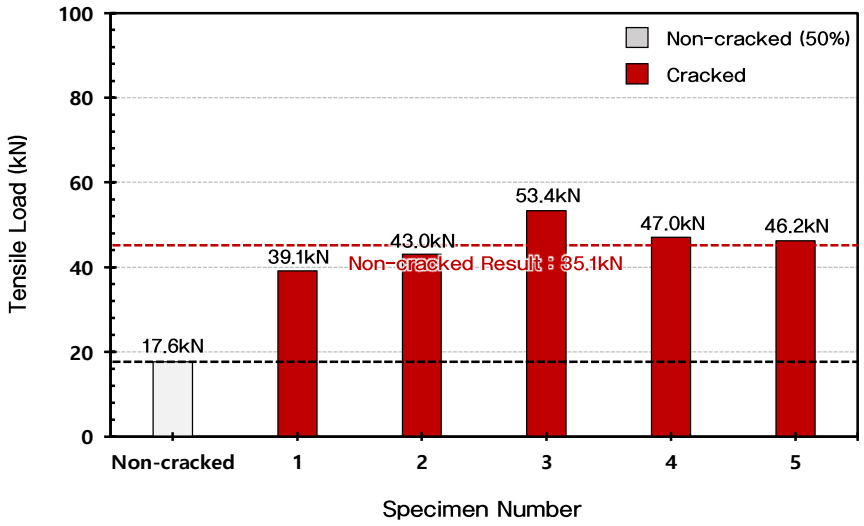
<표 2.9.59> 시험번호 ⑦ 인발시험결과

D(㎜)	N_{design}(kN)		$N_{nc,test}$(kN)		$N_{c,test}$(kN)		
	100%	50%	100%	50%	Avg	Stdev	CoV(%)
M16	35.6	17.8	35.1	17.6	45.7	4.7	10.3
M20	48.4	24.2	56.5	28.3	59.2	6.2	10.5

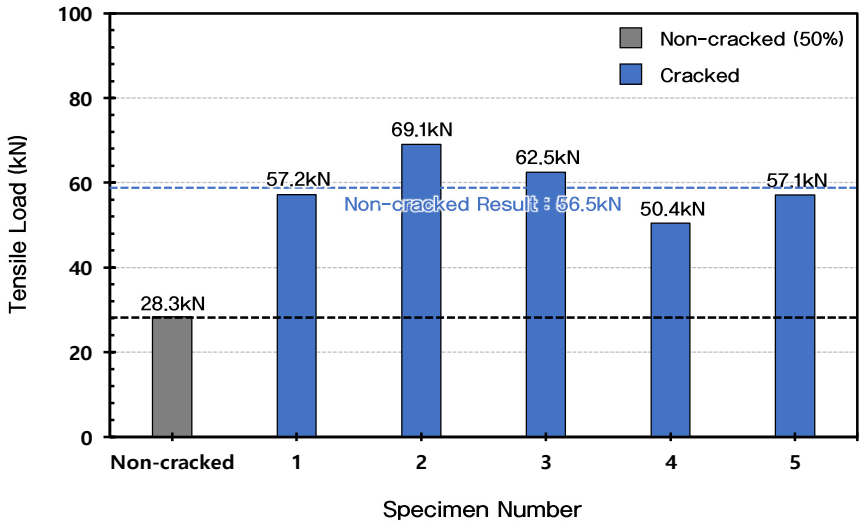
<표 2.9.60> 시험번호 ⑦ 시험결과

f_{ck}(MPa)	45	Test Number ⑦					
Crack (㎜)	0.5						
D(㎜)		16			20		
h_{ef}(㎜)		80			100		
Result		Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode
Specimen	1	39.1	11.4	CB	57.2	15.1	CB
	2	43.0	16.1	CB	69.1	21.0	CB
	3	53.4	12.8	CB	62.5	19.2	CB
	4	47.0	10.5	CB	50.4	19.8	CB
	5	46.2	11.6	CB	57.1	19.6	CB
Average(kN)		45.7	12.5	-	59.2	18.9	-
Stdev		4.7			6.2		
CoV(%)		10.3			10.5		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout



(a) M16 인발하중 비교



(b) M20 인발하중 비교

[그림 2.9.79] 시험번호 ⑦ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교)

- 시험번호 ⑧ (신뢰성시험 / 주기적으로 폭이 변하는 균열에 설치된 앵커 시험)

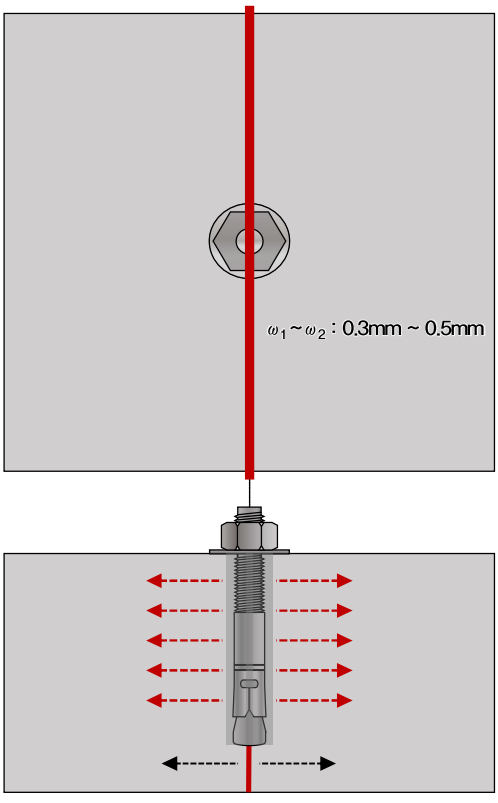
① 본 시험은 균열폭이 주기적으로 변하는 균열에 위치한 앵커의 성능을 평가하기 위한 시험임. 균열에 설치된 앵커의 균열폭을 열고 닫아 균열면에 설치된 앵커의 변위를 검토하고, 잔류강도시험을 통해 앵커의 성능을 평가하였음.

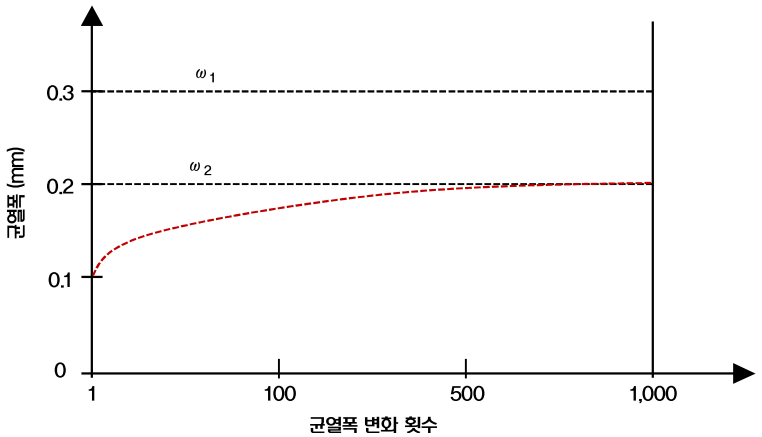
② 콘크리트 구조물에 사용하중이 지속적으로 발생하면 콘크리트에 발생한 균열폭은 하중변화에 따라 변화함. 특히, 구조물에 설치된 앵커는 균열폭의 변화에 따라 앵커의 성능이 결정됨. 따라서, 본 시험은 “콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집”에 명시된 시험기준을 따라 균열면에 설치된 앵커에 지속하중을 가력한 뒤 균열폭(0.1 ~ 0.3㎜)을 1,000회 반복하여 열고 닫음. 반복가력 횟수가 완료되면 인발시험을 통해 앵커의 인발내력을 검토함.

③ 주기적으로 폭이 변하는 균열에 설치된 M16 앵커의 시험결과, 변동계수는 10.5%로 나타나 신뢰성시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20%이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 또한, 평균인발하중(35.9kN)이 비균열 콘크리트에서의 실험결과($N_{test,50\%}$=29.8kN) 및 균열폭이 변하지 않는 균열 콘크리트에서의 실험결과(N_{test}=35.2kN)보다 동등이상의 성능을 나타냈음.

④ 주기적으로 폭이 변하는 균열에 설치된 M20 앵커의 시험결과, 변동계수는 7.9%로 나타나 신뢰성시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20%이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 또한, 평균인발하중(50.9kN)이 비균열 콘크리트에서의 실험결과($N_{test,50\%}$=39.8kN) 및 균열폭이 변하지 않는 균열 콘크리트에서의 실험결과(N_{test}=59.6kN)보다 동등이상의 성능을 나타냈음. <표 2.9.62>은 시험결과를 나타낸 것이며, [그림 2.9.81]는 각 직경별 앵커의 인발하중을 나타내었음.

⑤ 주기적으로 폭이 변하는 균열에 설치된 앵커의 성능검증시험은 각 직경별 앵커 모두 비균열 상황에서의 50% 및 균열폭이 변하지 않는 균열상황에서의 실험값을 모두 상회하였음. 이에 1,000회의 균열폭이 주기적으로 변하여 앵커가 피로상태임에도 불구하고 앵커의 성능은 저하되지 않고 충분한 내력과 균열보수성능을 확보하고 있음을 알 수 있었음.





[그림 2.9.80] 균열폭 주기 횟수

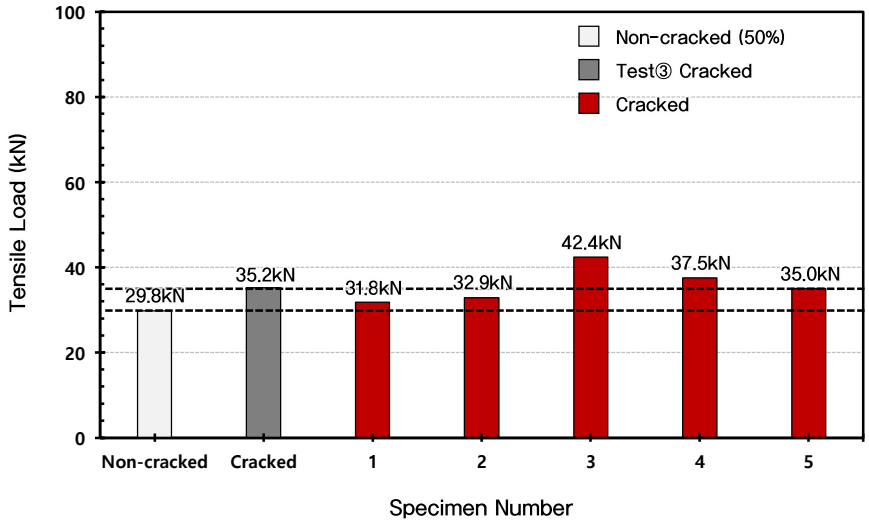
<표 2.9.61> 시험번호 ⑧ 인발시험결과

D(㎜)	$N_{nc,test}$(kN)		$N_{c,test③}$(kN)	$N_{c,test}$(kN)		
	100%	50%	Avg	Avg	Stdev	CoV(%)
M16	59.6	29.8	35.2	35.9	3.8	10.5
M20	79.5	39.8	59.6	50.9	4.0	7.9

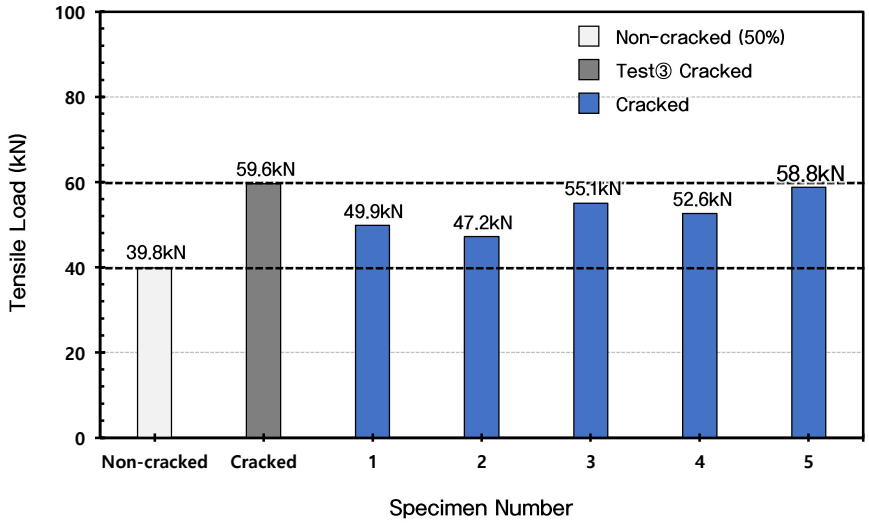
<표 2.9.62> 시험번호 ⑧ 시험결과

f_{ck}(MPa)	24	Test Number ⑧					
Crack(㎜)	0.1 ~ 0.3						
D(㎜)		16			20		
h_{ef}(㎜)		80			100		
Result		Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode	Load(kN)	Displ.(㎜)	Failure Mode
Specimen	1	31.8	9.4	CB	49.9	7.7	CB
	2	32.9	7.1	CB	47.2	6.2	CB
	3	42.4	13.3	CB	55.1	7.6	CB
	4	37.5	11.1	CB	52.6	8.7	CB
	5	35.0	10.2	CB	58.8	9.0	CB
Average(kN)		35.9	10.2	-	50.9	7.8	-
Stdev		3.8			4.0		
CoV(%)		10.5			7.9		

- CB : Concrete Breakout, PF : Pull-out Failure, SF : Splitting Failure, SFB : Side Face Blowout



(a) M16 인발하중 비교



(b) M20 인발하중 비교

[그림 2.9.81] 시험번호 ⑦ 시험결과 (각 직경별 앵커 인발하중 비교)

(9) 균열보수성능을 가진 비틀림 제어 확장앵커의 인발성능검토 결과

○ 본 연구에서는 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템을 개발하였고, 이 시스템을 적용하여 1차년도에 성능을 향상시킨 비틀림 제어 확장앵커가 균열보수성능을 확보하고 있는지 그 성능을 검증하였음. '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'에 명시된 균열 앵커시스템을 따라 성능검증실험을 수행하였으며, 실험결과는 다음과 같음.

- 시험번호 ③ (기준시험 / 균열 저강도 콘크리트)
  : 균열 저강도 콘크리트에서의 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 4.3 ~ 7.2%로 나타나 기준시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 15% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 또한, 각 직경별 앵커의 성능은 설계강도 대비 약 273 ~ 340% 높게 나타났으며, 평균인발하중도 비균열 상황에서의 약 50% 성능보다 약 118 ~ 150% 높게 나타내어 균열이 발생한 콘크리트에서도 비틀림 제어 확장앵커의 성능이 충분히 확보되었음을 알 수 있었음.

- 시험번호 ④ (기준시험 / 균열 고강도 콘크리트)
  : 균열 고강도 콘크리트에서의 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 4.0 ~ 7.7%로 나타나 기준시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 15% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 또한, 각 직경별 앵커의 성능은 설계강도 대비 약 233 ~ 310% 높게 나타났으며, 평균인발하중도 비균열 상황에서의 약 50% 성능보다 약 114 ~ 166% 높게 나타내어 균열이 발생한 콘크리트에서도 비틀림 제어 확장앵커의 성능이 충분히 확보되었음을 알 수 있었음.

- 시험번호 ⑥ (신뢰성시험 / 균열 저강도 콘크리트 큰 앵커 구멍에 대한 민감도)
  : 균열 저강도 콘크리트에서 큰 앵커 구멍에 대한 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 7.0 ~ 7.3%로 나타나 기준시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 또한, 각 직경별 앵커의 평균인발하중이 비균열 콘크리트에서의 약 50% 이상의 값을 나타내어 균열상황에서도 표준직경보다 큰 구멍에 설치된 앵커가 충분한 내력과 균열보수성능을 확보하고 있음을 알 수 있었음.

- 시험번호 ⑦ (신뢰성시험 / 균열 고강도 콘크리트 작은 앵커 구멍에 대한 민감도)
  : 균열 고강도 콘크리트에서 작은 앵커 구멍에 대한 인발시험을 수행한 결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 10.3 ~ 10.5%로 나타나 기준시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 또한, 각 직경별 앵커의 평균인발하중이 비균열 콘크리트에서의 약 50% 이상의 값을 나타내어 균열상황에서도 표준직경보다 작은 구멍에 설치된 앵커가 충분한 내력과 균열보수성능을 확보하고 있음을 알 수 있었음.

- 시험번호 ⑧ (신뢰성시험 / 주기적으로 폭이 변하는 균열에 설치된 앵커 시험)
  : 균열 저강도 콘크리트에서 균열폭이 주기적으로 변하는 균열에 설치된 앵커의 성능검증 시험결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 약 7.9 ~ 10.5%로 나타나 신뢰성시험의 극한인장하중 변동계수 허용기준인 20% 이내 값을 가지고 있어 기준에 제시된 변동계수 값을 만족하였음. 또한, 각 직경별 앵커의 평균인발하중이 균열폭이 변하지 않는 균열 콘크리트에서 시험결과 값과 동등이상의 성능을 나타내어, 균열폭이 주기적으로 변하여 앵커가 피로상태임에도 앵커의 인발 및 균열보수성능은 충분히 확보하고 있음을 알 수 있었음.

2.9.4 연구개발결과

(1) 기존 후설치 앵커의 정착성능 향상을 위한 성능검증연구

○ 본 연구에서는 기존 비틀림 제어 확장앵커에 부족한 정착성능을 향상시키기 위하여 앵커의 성능을 결정하는 요소인 슬리브와 헤드부 상세를 개선하였고, 이에 유한요소해석을 수행하여 최적의 형상을 개발하여 개선된 비틀림 제어 확장앵커를 개발하였음.

○ 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 성능을 검증하기 위해 국내 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'에 명시된 비균열 콘크리트 앵커 시험프로그램을 따라 각 직경별 앵커의 기준시험, 신뢰성시험 및 사용조건시험을 수행하였음.

- 기준시험의 경우, 개선된 앵커의 성능은 기존 앵커의 성능 대비 일반강도 콘크리트는 약 121 ~ 187% 정도 향상되었고, 고강도 콘크리트는 약 128 ~ 190%정도 향상되었으며, 변동계수도 기준 앵커보다 안전한 변동계수 값을 나타내었음.
- 신뢰성시험의 경우, 각 조건별 시험(큰 구멍시험, 작은 구멍시험, 반복하중시험)은 기준시험 대비 성능이 다소 부족하지만, 각 직경별 앵커의 설계강도 값을 상회하여 앵커가 비정상적으로 거동하거나 불리한 조건에 설치되어도 충분한 정착성능을 확보하고 있음을 알 수 있었음. 또한, 변동계수 허용기준인 20% 이내의 안전한 변동계수 값을 나타내었음.
- 사용조건시험의 경우, 각 조건별 시험(최소 연단거리 및 최소 간격, 전단시험)은 기준시험 대비 성능이 다소 부족하지만, 각 직경별 앵커의 설계강도 값을 상회하여 앵커가 사용조건 상태임에도 충분한 정착성능을 확보하고 있음을 알 수 있었음.

(2) 균열을 가진 후설치 앵커의 성능검증연구

○ 기존의 국내외 문헌 및 자료조사를 통해 균열 콘크리트에 대한 아이디어를 고안해냈고, 이에 균열 콘크리트 제작을 위한 실험체 상세 및 실험기법을 개발하였음. 본 균열 시스템은 콘크리트 허용균열 외 균열폭을 유발할 수 있어 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 성능검증에 대한 다양한 연구를 수행할 수 있는 장점이 있으며, 이를 적용하여 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 균열보수성능 검증을 위한 실험을 수행하였음.

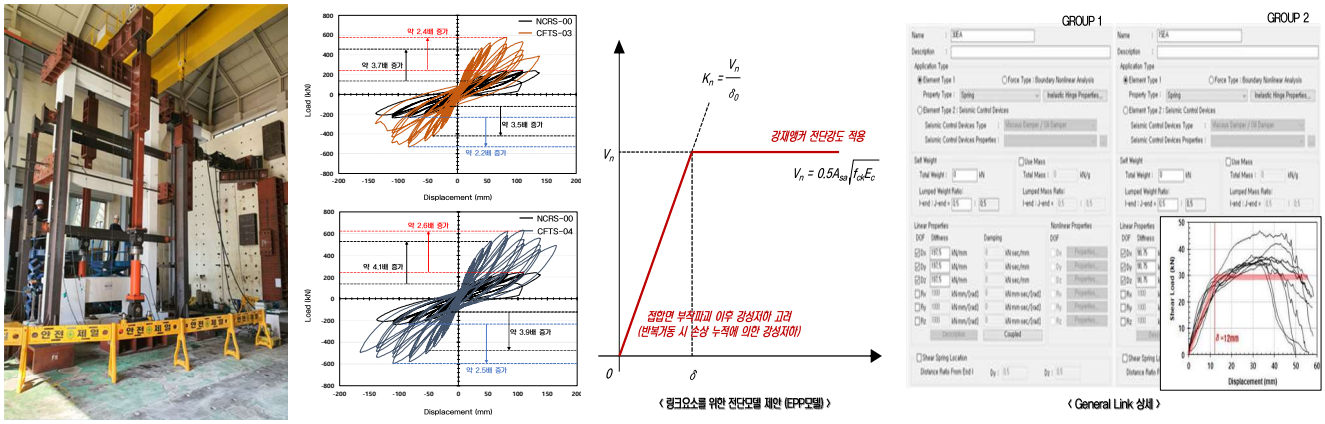
○ 개발한 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템을 적용하여 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 균열보수 성능 검증 실험을 수행하였음. 국내 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'에 명시된 균열 콘크리트 앵커 시험프로그램을 따라 각 직경별 앵커의 기준시험 및 신뢰성시험을 수행하였음.

- 기준시험의 경우, 앵커의 성능은 비균열 콘크리트의 50%이상의 성능을 나타내었으며, 대부분의 파괴형상이 콘크리트 콘파괴로 콘크리트의 성능이 저하되었음에도 개선된 앵커의 정착성능이 충분히 확보되었음을 알 수 있었음.
- 신뢰성시험의 경우, 앵커의 성능은 비균열 콘크리트의 50%이상의 성능을 나타내었으며, 대부분의 파괴형상이 콘크리트 콘파괴로 콘크리트의 성능이 저하되었음에도 개선된 앵커의 정착성능이 충분히 확보되었음을 알 수 있었음. 신뢰성시험은 성능은 기준시험 대비 다소 부족한 성능을 나타내었지만, 그 차이는 미미하며 비정상적인 거동이나 불리한 조건에 설치되어도 앵커의 성능은 충분히 확보되었음.

2.9.5 연구개발 활용계획

(1) 부재 및 실구조물 대상 성능검증에 대한 연구

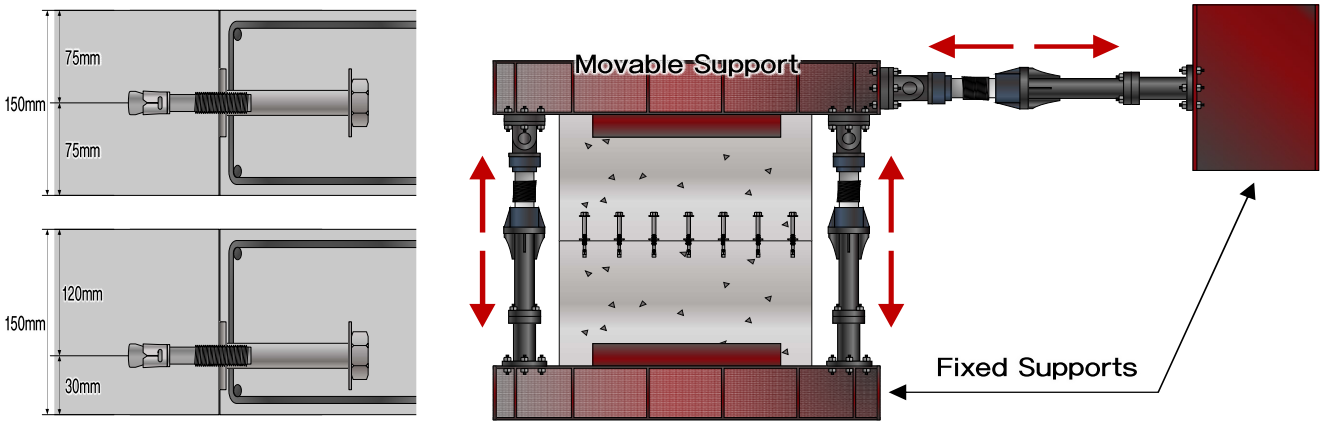
○ 후설치 앵커는 기존 콘크리트 구조물에 구조체나 비구조체 등을 연결하여 외부하중을 콘크리트에 전달하기 위한 구조재료임. 후설치 앵커는 각종 건설 및 토목, 리모델링 분야에 사용되고 있음. 특히, 최근 지진발생빈도가 많아짐에 따라 기존 구조물의 내진성능향상을 위한 내진보강체 접합요소로도 많이 사용되고 있음. 본 연구진은 후설치 앵커과 관련된 연구 중 기존 구조물의 내진성능향상을 위한 내진보강공법 연구를 다수 수행한 경험이 있으며, 특히 내진보강체를 부착하기 위한 후설치 앵커의 접합성능에 대한 연구도 다수 수행하였음. 기존 연구를 통해 습득한 노하우 및 기술력을 기반으로 하여 본 연구에서 개발한 정착성능 및 균열보수성능이 검증된 비틀림 제어 확장앵커를 적극 활용하고자함.



[그림 2.9.82] 2층 골조 내진보강공법 성능실험 및 보강재 연결을 위한 후설치 앵커의 EPP모델(전단모델) 해석 연구

(2) 다양한 성능조건을 검증하기 위한 후속 연구

○ 본 연구에서는 정착성능 및 균열보수성능이 검증된 후설치 앵커 개발을 목표로 하였으며, 국내 콘크리트용 앵커 설계기준 및 콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집을 따라 단일앵커의 성능을 검증하기 위한 연구를 수행하였음. 본 연구에서는 후설치 앵커의 구조적 성능 및 안전한 거동을 평가하기 위한 기초연구만 수행하였기 때문에 구조재나 비구조재 등 부재에 적용되는 후설치 앵커에 대한 연구는 수행하지 않았음. 해당 연구가 종료되어도 본 연구에서 확보한 연구결과를 통해 후설치 앵커과 관련된 다양한 조건을 가진 연구를 수행하고자 하며, 현재 후속 연구로 본 연구에서 개발한 후설치 앵커를 이용하여 신·구 슬래브 접합부 상세 개발 연구를 진행하고 있음.



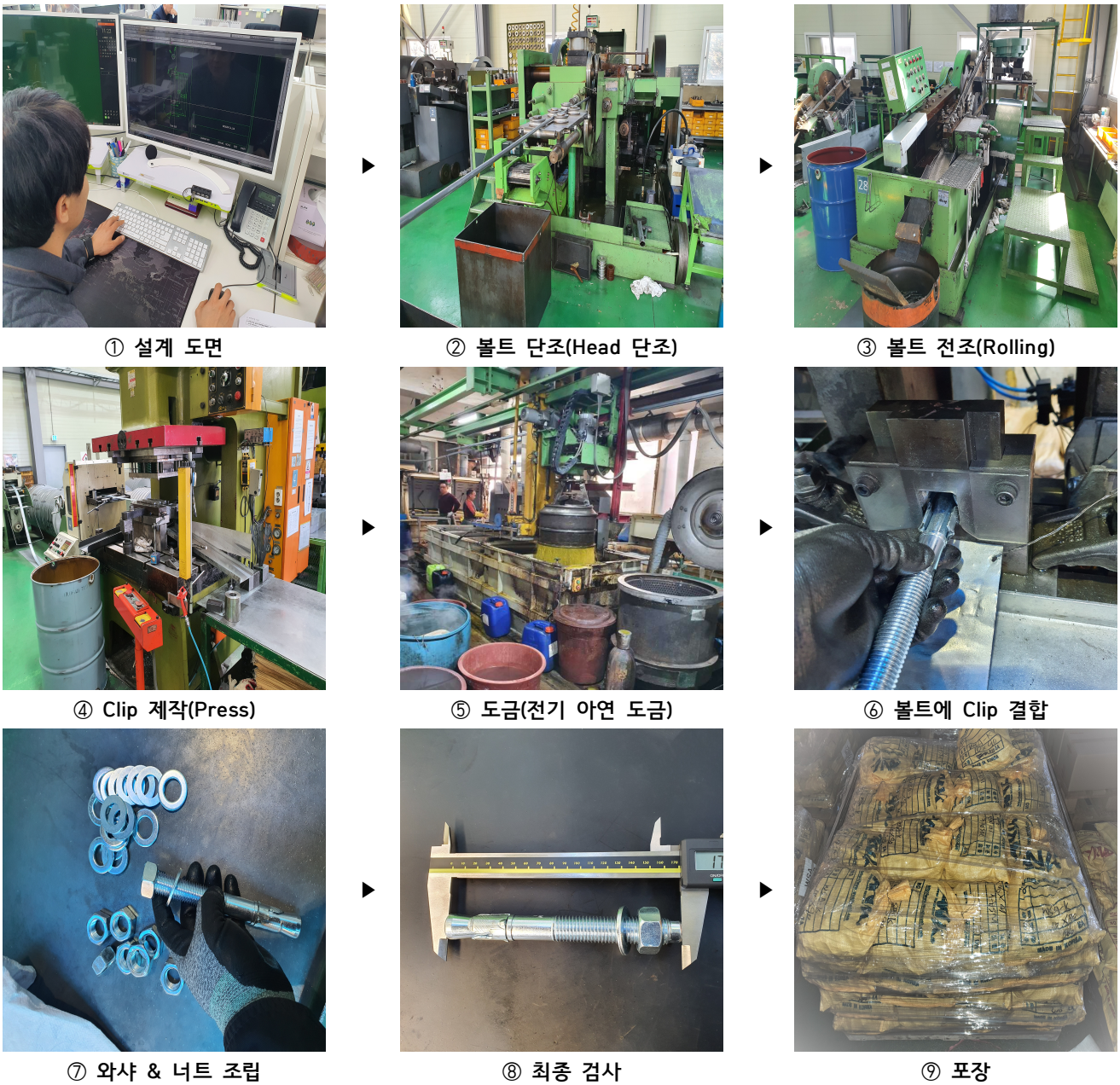
[그림 2.9.83] 신·구 슬래브 접합 시 후설치 앵커를 활용한 접합부 상세 개발

○ 본 연구에서 수행한 균열을 가진 M16, M20 후설치 앵커 외 M8, M10, M12 앵커의 후속 연구를 수행하고자 함. 본 연구결과 및 후속 연구를 통해 개발한 후설치 앵커의 국내 학회 기술인증을 위한 연구과제를 수행하고자 함.

(3) 개발한 후설치 앵커의 경제성 평가

○ 시제품의 규격화를 통한 양산 적용

- 본 연구과제에서 개발한 후설치 앵커는 시제품 시편의 신뢰성 확보를 위하여 생산 공정에 규격화를 적용하였음. 또한 제작된 모델별 금형을 바탕으로 양산 설비에 적용함으로써 최종 완성품 단계의 일관성을 확인하였음.



① 설계 도면 ② 볼트 단조(Head 단조) ③ 볼트 전조(Rolling)

④ Clip 제작(Press) ⑤ 도금(전기 아연 도금) ⑥ 볼트에 Clip 결합

⑦ 와샤 & 너트 조립 ⑧ 최종 검사 ⑨ 포장

[그림 2.9.84] 시제품 양산 과정

○ 국제 공급망 차질 및 제품의 가성비 정책

- 후술할 글로벌 앵커 시장의 확대 및 내진용 앵커의 수요 확산으로 제품의 수요처는 증가하는 추세이

나, 마찬가지로 후술할 Covid-19 및 이와 같은 펜데믹(Pandemic : 세계적 대유행)의 영향으로 인한 국제 공급망 차질은 수요에 대한 공급 불균형을 초래함.

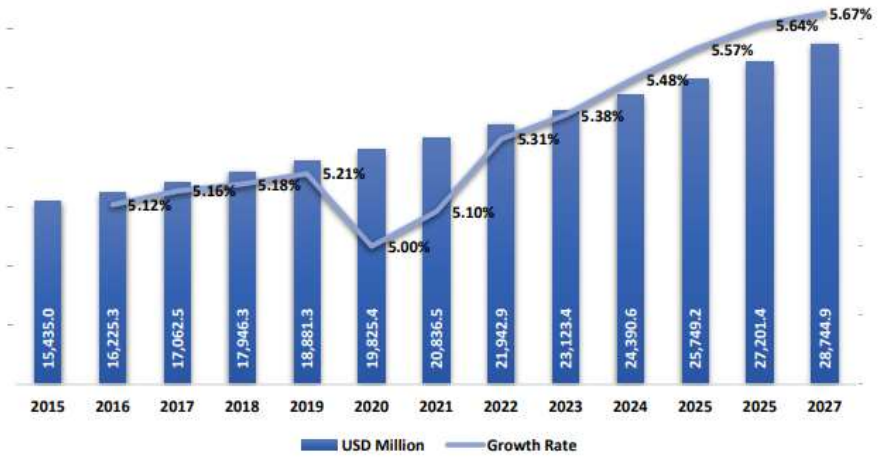
- 공급망 문제로 야기된 해외 앵커 제품의 가격 인상은 불가피하며, 이와 같은 해외 주력 앵커 브랜드 대비 성능적 부족함 없이 합리적 가격의 국내시장 제품의 존재는 안정적인 공급과 함께 차기 펜데믹 등의 외부 요소로부터 비교적 자유로운 시장 형성에 주요함.
- 국내시장 점유율 20% 향상을 최우선 목표로, 국제 공급망 문제로부터 자유로운 국내 시장 형성에 이바지하며 나아가고자 함. 또한, 고품질의 성능 및 합리적 가격을 장점으로 해외 글로벌 시장 역수출을 통하여 확대되는 관련 시장 상황에 성공적 합류를 목표로 함.

<표 2.9.63> 국내외 주요시장 현황

구분	제품명	규격	설계인발력 (콘크리트 강도 21MPa 기준)	판매가격 (원)	연매출액 (천원)	비고
국내	WSA-S	M8	7.1kN	1,000	-	우수한 성능과 합리적 가격
		M10	10.8kN	1,200		
		M12	17.0kN	1,500		
		M16	25.8kN	3,200		
		M20	35.1kN	6,900		
국외	Hilti사 / 리히텐슈타인	M8	7.3kN	3,000	10,000,000	성능 및 품질은 우수하나 높은 가격을 형성
		M10	10.5kN	4,400		
		M12	17.6kN	5,200		
		M16	24.1kN	12,000		
		M20	33.7kN	27,000		
	Fischer사 / 독일	M12	17.7kN	2,060	5,000,000	
		M16	29.0kN	4,230		
		M20	37.0kN	8,990		

○ 글로벌 앵커 시장으로 바라본 시장성 전망

- 아래 보고서에 따르면 2020년 기준 글로벌 앵커 볼트 시장 규모는 19,825.4 Million US$로, 한화로 약 23조에 이름. 연 평균 성장률인 5.5%의 CAGR을 적용하면 2027년 시장 규모는 28,744.9 Million US$, 즉 한화로 약 32조까지 성장할 것으로 예측함.



Source: Secondary Research, Company Publications, Primary Interviews, and Calibre Analysis

[그림 2.9.85] 글로벌 앵커 볼트 시장 규모 현황

- 앵커의 수요 증가 및 앵커 시장의 확대는 고층 건물의 콘크리트 기초공사에 대한 수요증가, 앵커 볼트

로 신축된 대형금속 구조물의 안정화 필요성 증가 및 높은 온도에서의 철강가격 및 기술 제품 문제의 변동성, 신흥국 상업 및 기관 건물 건설의 급증 등을 주요 원인으로 분석함.

○ Covid-19가 앵커 시장에 미치는 영향

- 코로나 바이러스 질병 2019(Covid-19)는 산업을 포함한 모든 분야에 걸쳐 많은 영향을 미치는데, 볼트 산업 전반에도 예외 없이 적용되었으며 특히, 각국 정부들로 하여금 사람 및 물건의 이동에 대한 엄격한 봉쇄 조치를 주입하도록 강요함으로써 수출입을 통한 무역 경제를 얼어 붙게 만들었음.
- 또한, 전 세계의 거의 모든 제조 공장의 무기한 폐쇄 조치로 인하여 원자재 및 부자재를 포함하는 앵커 완제품의 가격상승을 초래하였으며, 이러한 요인들은 시장 성장 전망에 심각한 장애물이 될 수 있음을 시사함.
- 따라서, 수입 의존도가 높은 국내 앵커 시장에서 자체 경쟁력을 확보하여 수출입 제한으로부터 자유로우며, 자동화 생산설비를 바탕으로 코로나 상황에 대응하기 위한 공장 폐쇄 조치를 미연에 방지함으로써 안정적인 인프라 구축은 Covid-19를 포함하여, 예측할 수 없는 향후의 문제적 상황에 대응할 수 있는 유일한 방법이라고 보고서는 분석하였음.

(4) 개발한 후설치 앵커의 시공성 향상

○ 숙련 및 비숙련공과의 성능 차이가 없도록 비숙련공도 작업이 가능한 설치법을 수요자 중심 매뉴얼에 적용

- 기존 후설치 앵커의 단점으로 지적되던 설치 방법 및 작업자의 숙련도 차이에 따른 성능 발현 편차를 극복할 수 있는 설치법으로 균일도 및 제품 신뢰성을 향상
- 숙련공 자체의 감소 및 인건비 상승으로 인한 비숙련공(외국인 근로자 등) 투입 비율이 증가하는 국내 건설 현장 여건을 반영하여 비숙련공 설치 시에도 균등 성능 발현
- 엘리베이터, 커튼월 등 특정 용도에 부합하는 설계 및 시공 매뉴얼 정립
- 공공기관용 앵커 설계 및 시공 기술 표준화 지원



[그림 2.9.86] 개발 후설치 앵커 개요 및 시공 매뉴얼

(5) 제품 신뢰성 확보를 위한 매뉴얼의 지속 유지관리 방안

○ 매뉴얼의 지속적인 업데이트가 가능한 플랫폼화로 제품 스펙 변화 시 간단한 수치 입력만으로 최신화가 가능함.

○ 매뉴얼 버전 표기로 최신화 배포 및 현장관리

○ 마련된 매뉴얼을 기반으로 앵커 설치에 관한 특기 시방서를 제작함. 이를 기준으로 매뉴얼에 의거한 설치가 이뤄지도록 작업자 교육 및 현장관리(점검)를 실시함.

○ 매뉴얼은 시공자(작업자)에게 즉각적인 활용 가이드 라인으로 적용 가능함.



① 앵커 설치를 위한 콘크리트 천공



② 천공홀 내부 이물질(먼지) 제거



③ 앵커 삽입 및 해머링



④ 슬리브 확장을 위한 비틀림 가력

[그림 2.9.87] 매뉴얼에 의거한 실제 앵커 설치 과정

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

○ 기존 비틀림 제어 확장앵커를 개선하여 인발 및 전단성능을 향상시키고, 이에 성능검증실험 수행하여 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 성능을 검토함.

- 저강도 콘크리트에서 각 직경별 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 성능은 기존 후설치 앵커 대비 약 121 ~ 187% 정도의 성능을 나타내었음.
- 고강도 콘크리트에서 각 직경별 개선된 비틀림 제어 확장앵커의 성능은 기존 후설치 앵커 대비 약 128 ~ 190% 정도의 성능을 나타내었음.

○ 본 연구에서는 인발 및 전단성능이 향상된 M10, M12, M16 비틀림 제어 확장앵커에 대한 성능실험만 계획하였으나, 비구조재 및 구조재 등 다양한 구조물과 시설물에 사용되는 앵커의 사용성을 고려하여 M8, M20 앵커를 추가적으로 계획하여 성능검증실험을 수행하였고 이에 대한 실험결과를 DB화하였음.

○ 국내 학회에서 발간한 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'에 명시된 각 조건별 모든 시험기준을 따라 비틀림 제어 확장앵커의 성능을 검증함으로써, 국내 앵커 성능검증기준에 대한 신뢰성을 검토하였음.

<표 2.9.64> 기존 및 개선 후설치 앵커의 성능비교

D(㎜)	Before(kN)		After(kN)		ratio(%)	
	Concrete Strength		Concrete Strength		Concrete Strength	
	Low	High	Low	High	Low	High
M8	8.7	13.5	16.5	25.7	190	190
M10	19.9	25.7	24.2	32.9	122	128
M12	26.2	33.9	41.7	52.2	159	154
M16	37.0	44.4	59.5	73.1	161	165
M20	57.5	67.2	79.5	90.2	138	134



(a) 개선 전 후설치 앵커 **(b) 개선 후 후설치 앵커**

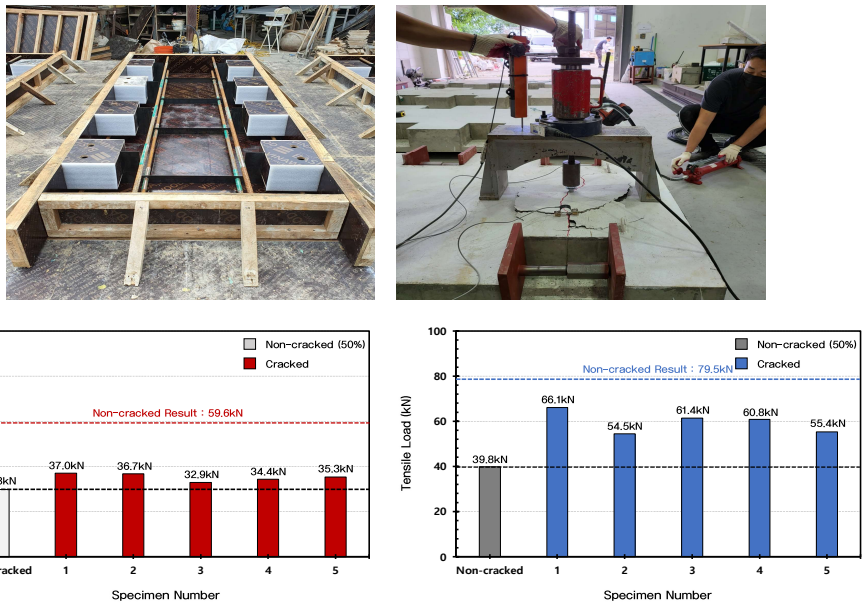
[그림 2.9.88] 기존 및 개선 후설치 앵커의 파괴형상 비교

○ 균열 콘크리트 제작·실험시스템 개발 및 비틀림 제어 확장앵커의 균열보수성능 검증실험 수행

- 균열이 발생한 저강도 콘크리트에서 각 직경별 비틀림 제어 확장앵커의 성능은 정상상황에서의 약 59 ~ 75% 정도의 성능을 나타내어 비균열 콘크리트의 50% 성능을 상회하였음.

- 균열이 발생한 고강도 콘크리트에서 각 직경별 비틀림 제어 확장앵커의 성능은 정상상황에서의 약 57 ~ 83% 정도의 성능을 나타내어 비균열 콘크리트의 50%성능을 상회하였음.

○ 실험결과, 본 연구에서 계획한 비균열 콘크리트의 60% 동등이상 성능을 나타내어 연구목표치보다 높은 성과를 나타냈음.

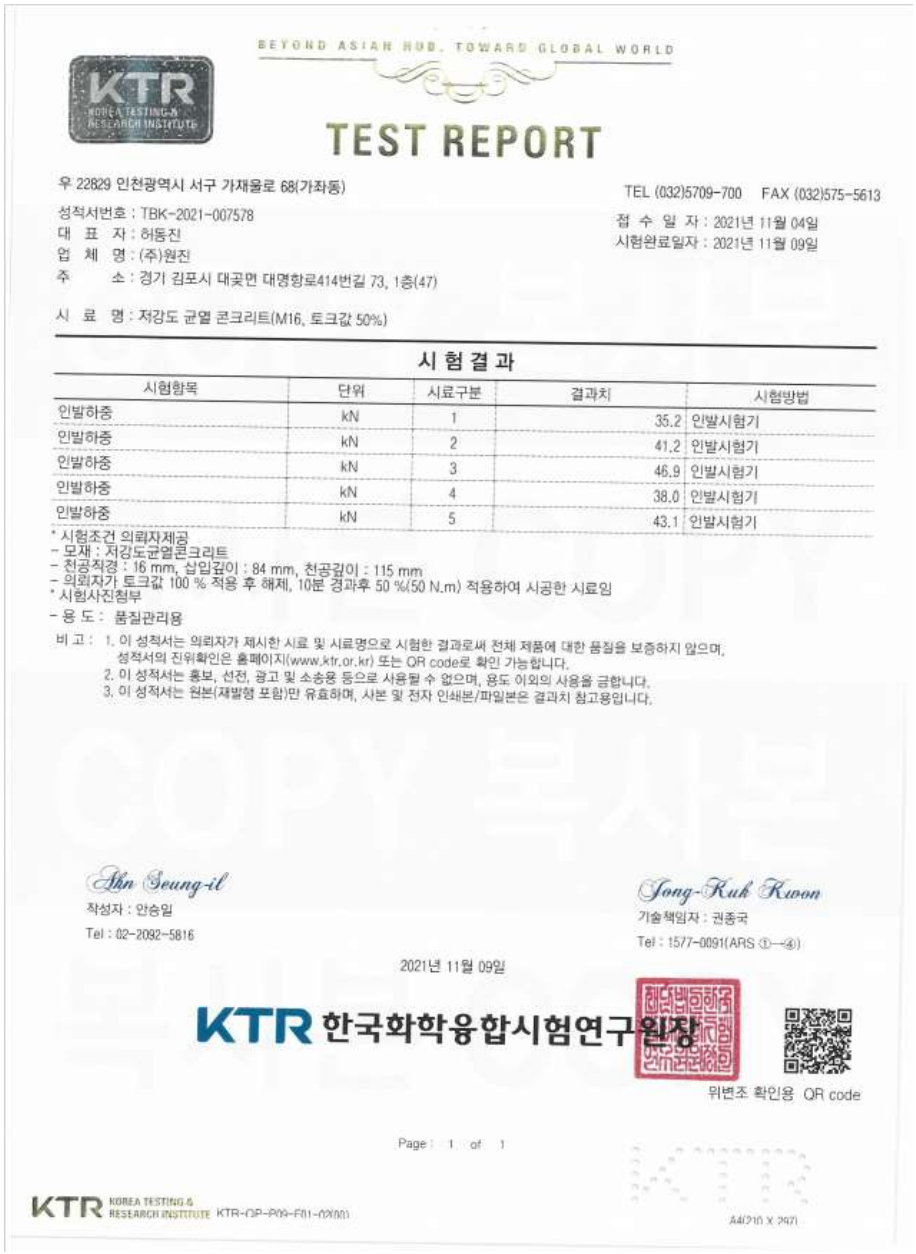


[그림 2.9.89] 균열 시스템 개발 및 비틀림 제어 확장앵커 균열보수성능 검증실험

<표 2.9.65> 비균열 및 균열을 가진 후설치 앵커의 성능비교

D(㎜)	Non-cracked Concrete(kN)				Cracked Concrete(kN)	
	Low Strength		High Strength		Low Strength	High Strength
	100%	50%	100%	50%		
M16	59.5	29.8	73.1	36.6	35.2	41.5
M20	79.5	39.8	90.2	45.1	59.6	75.1

○ 균열을 가진 후설치 앵커의 객관적 검증을 위한 시험성적서는 [그림 2.9.90] ~ [그림 2.9.93]에 나타내었음.



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

TEST REPORT

우 22829 인천광역시 서구 가재울로 68(가좌동)
TEL (032)5709-700 FAX (032)575-5613

성적서번호 : TBK-2021-007578
대 표 자 : 허동진
업 체 명 : (주)원진
주 소 : 경기 김포시 대곶면 대명항로414번길 73, 1층(47)

접 수 일 자 : 2021년 11월 04일
시험완료일자 : 2021년 11월 09일

시 료 명 : 저강도 균열 콘크리트(M16, 토크값 50%)

시 험 결 과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
인발하중	kN	1	35.2	인발시험기
인발하중	kN	2	41.2	인발시험기
인발하중	kN	3	46.9	인발시험기
인발하중	kN	4	38.0	인발시험기
인발하중	kN	5	43.1	인발시험기

* 시험조건 의뢰자제공
- 모재 : 저강도균열콘크리트
- 천공직경 : 16 mm, 삽입깊이 : 84 mm, 천공깊이 : 115 mm
- 의뢰자가 토크값 100 % 적용 후 해체, 10분 경과후 50 %(50 N.m) 적용하여 시공한 시료임
* 시험사진첨부
- 용 도 : 품질관리용

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인은 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

Ahn Seung-il
작성자 : 안승일
Tel : 02-2092-5816

Song-Kuk Kwon
기술책임자 : 권종국
Tel : 1577-0091(ARS ①→④)

2021년 11월 09일

KTR 한국화학융합시험연구원장

위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-QP-P09-F01-02(00)

A4(210 X 297)

[그림 2.9.90] KTR 시험성적서(저강도 균열을 가진 M16 후설치 앵커)



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

TEST REPORT

우 26365 강원도 원주시 문막읍 동화공단로 130-2 동화첨단의료기기 산업단지내 강원테크노파크 2동 103호
TEL (033)744-8100 FAX (033)744-8866

성적서번호 : TBK-2022-000943
대 표 자 : 허동진
업 체 명 : (주)원진
주 소 : 경기 김포시 대곶면 대명항로414번길 73, 1층(47)

접 수 일 자 : 2022년 02월 10일
시험완료일자 : 2022년 02월 22일

시 료 명 : 고강도 균열 콘크리트

시 험 결 과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
인발하중	kN	M16-1(토크값 50 %)	61.1	인발시험기(의뢰자제공시험방법)
인발하중	kN	M16-2(토크값 50 %)	61.3	인발시험기(의뢰자제공시험방법)
인발하중	kN	M16-3(토크값 50 %)	66.2	인발시험기(의뢰자제공시험방법)
인발하중	kN	M16-4(토크값 50 %)	61.8	인발시험기(의뢰자제공시험방법)
인발하중	kN	M16-5(토크값 50 %)	69.3	인발시험기(의뢰자제공시험방법)

* 시험조건 의뢰자제공
- 모재 : 고강도균열콘크리트
- 천공직경 : 16 mm, 삽입깊이 : 84 mm, 천공깊이 : 115 mm
- 의뢰자가 토크값 100 % 적용 후 해체, 10분 경과후 50 %(50 N.m) 적용하여 시공한 시료임
* 시험사진첨부
- 용 도 : 품질관리용

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인은 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

Ahn Seung-il
작성자 : 안승일
Tel : 033-744-8105

chung kyung ho
기술책임자 : 정경호
Tel : 1577-0091(ARS ①→④)

2022년 02월 22일

KTR 한국화학융합시험연구원장

위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-QP-P09-F01-02(00)

A4(210 X 297)

[그림 2.9.91] KTR 시험성적서(고강도 균열을 가진 M16 후설치 앵커)



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

TEST REPORT

우 22829 인천광역시 서구 가재울로 68(가좌동) TEL (032)5709-700 FAX (032)575-5613

성적서번호 : TBK-2021-007579
대 표 자 : 허동진
업 체 명 : (주)원진
주 소 : 경기 김포시 대곶면 대명항로414번길 73, 1층(47)

접 수 일 자 : 2021년 11월 04일
시험완료일자 : 2021년 11월 09일

시 료 명 : 저강도 균열 콘크리트(M20, 토크값 50%)

시 험 결 과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
인발하중	kN	1	65.9	인발시험기
인발하중	kN	2	56.0	인발시험기
인발하중	kN	3	64.2	인발시험기
인발하중	kN	4	55.7	인발시험기
인발하중	kN	5	69.4	인발시험기

* 시험조건 의뢰자제공
- 모재 : 저강도균열콘크리트
- 천공직경 : 20 mm, 삽입깊이 : 103 mm, 천공깊이 : 130 mm
- 의뢰자가 토크값 100 % 적용 후 해제, 10분 경과후 50 %(100 N.m) 적용하여 시공한 시료임
* 시험사진첨부

- 용 도 : 품질관리용

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인은 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

Ahn Seung-il
작성자 : 안승일
Tel : 02-2092-5816

Song-Kuk Kwon
기술책임자 : 권종국
Tel : 1577-0091(ARS ①→④)

2021년 11월 09일

KTR 한국화학융합시험연구원장

위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-QP-P09-F01-02(00) A4(210 X 297)

[그림 2.9.92] KTR 시험성적서(저강도 균열을 가진 M20 후설치 앵커)



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

TEST REPORT

우 26365 강원도 원주시 문막읍 동화공단로 130-2 동화첨단의료기기 산업단지내 강원테크노파크 2동 103호 TEL (033)744-8100 FAX (033)744-8866

성적서번호 : TBK-2022-001013
대 표 자 : 허동진
업 체 명 : (주)원진
주 소 : 경기 김포시 대곶면 대명항로414번길 73, 1층(47)

접 수 일 자 : 2022년 02월 15일
시험완료일자 : 2022년 03월 02일

시 료 명 : 고강도 균열 콘크리트

시 험 결 과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
인발하중	kN	M20-1(토크값 50 %)	74.2	인발시험기(의뢰자제공시험방법)
인발하중	kN	M20-2(토크값 50 %)	76.3	인발시험기(의뢰자제공시험방법)
인발하중	kN	M20-3(토크값 50 %)	73.0	인발시험기(의뢰자제공시험방법)
인발하중	kN	M20-4(토크값 50 %)	80.0	인발시험기(의뢰자제공시험방법)
인발하중	kN	M20-5(토크값 50 %)	78.1	인발시험기(의뢰자제공시험방법)

* 시험조건 의뢰자제공
- 모재 : 고강도균열콘크리트
- 천공직경 : 20 mm, 삽입깊이 : 103 mm, 천공깊이 : 130 mm
- 의뢰자가 토크값 100 % 적용 후 해제, 10분 경과후 50 %(100 N.m) 적용하여 시공한 시료임
* 시험사진첨부

- 용 도 : 품질관리용

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인은 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

Ahn Seung-il
작성자 : 안승일
Tel : 033-744-8105

chung kyung ho
기술책임자 : 정경호
Tel : 1577-0091(ARS ①→④)

2022년 03월 02일

KTR 한국화학융합시험연구원장

위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-QP-P09-F01-02(00) A4(210 X 297)

[그림 2.9.93] KTR 시험성적서(고강도 균열을 가진 M20 후설치 앵커)

(2) 정량적 연구개발성과

○ 논문성과

1) KCI 논문게재

① 슬리브 및 헤드길이에 따른 후설치 앵커의 인발성능평가

- 저자명 : 허무원, 채경훈, 안영승, 박태원
- 학술지명(Vol(No)) : 한국구조물진단유지관리공학회 논문집(25(2))

② 유효묻힘깊이와 콘크리트 강도를 고려한 후설치 앵커의 설계식 평가

- 저자명 : 허무원, 채경훈, 원재식, 박태원
- 학술지명(Vol(No)) : 한국구조물진단유지관리공학회 논문집(25(3))

③ 거푸집 패널이 부착된 2방향 중공슬래브의 뚫림전단 안전성 평가

- 저자명 : 허무원, 우형식, 박정민, 강현욱, 박태원
- 학술지명(Vol(No)) : 한국구조물진단유지관리공학회 논문집(25(5))

④ 거푸집 패널이 부착된 중공슬래브의 안전성 평가

- 저자명 : 허무원, 채경훈, 박태원, 강현욱, 박현수
- 학술지명(Vol(No)) : 한국구조물진단유지관리공학회 논문집(25(6))

2) SCIE 논문 심사 중

① Performance Evaluation and Design Proposal for Post-installed Anchor after Improving Sleeve and Header Lengths

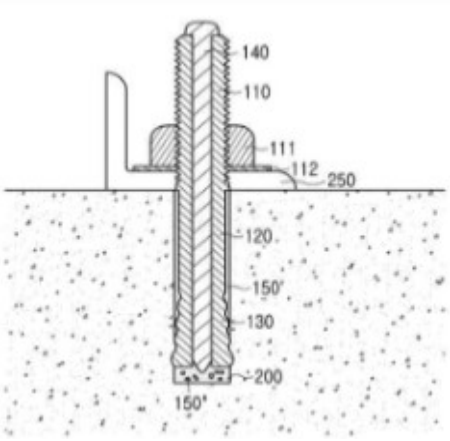
- 저자명 : 허무원, 채경훈, 안영승, 박태원
- 학술지명 : Construction and Building MATERIALS

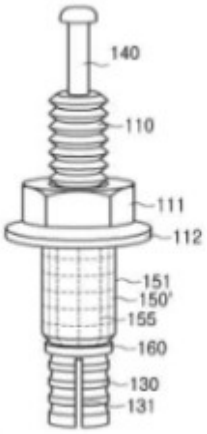


○ 특허성과

1) 발명의 명칭 : 에폭시 주머니를 포함하는 앵커

- 출원일자 : 2020년 06월 17일
- 출원번호 : 10-2020-0073865
- 출원인 / 발명자 명칭 : 단국대학교 산학협력단 / 박태원, 허무원, 채경훈
- 등록일자 : 2021년 03월 09일
- 등록번호 : 10-2227880
- 본 발명은 슬리브 확장과 에폭시 주머니 파쇄가 동시에 이루어지는 앵커로써 시공단계 단축 및 앵커 성능을 개선함. 또한, 에폭시 주입으로 인해 콘크리트 균열을 보강할 수 있는 앵커임.

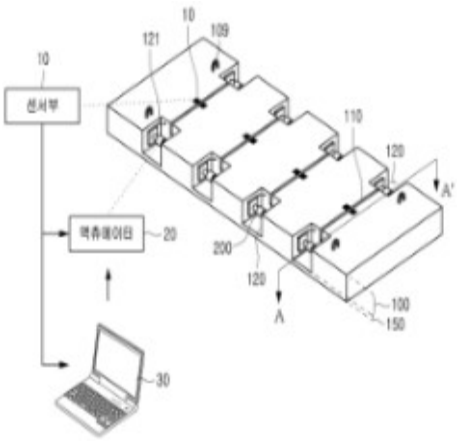


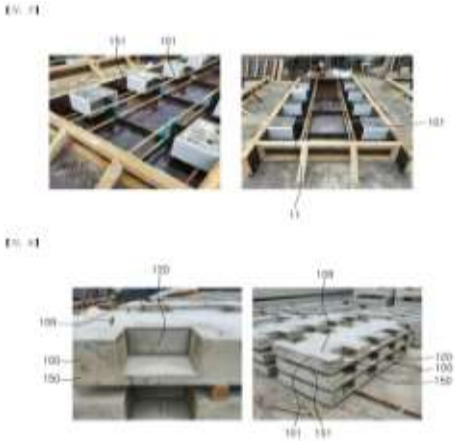




2) 발명의 명칭 : 균열 콘크리트 시험체 및 이를 이용한 방법

- 출원일자 : 2021년 08월 20일
- 출원번호 : 10-2021-0110227
- 출원인 / 발명자 명칭 : 단국대학교 산학협력단 / 박태원, 허무원, 이상현, 채경훈
- 본 발명은 균열이 발생한 콘크리트에서 후설치 앵커의 성능을 검증하기 위한 균열 콘크리트 시험체 및 이를 이용한 방법에 관한 것임.







○ 인력양성

1) 성명 : 원재식
2) 소속(전공) : 단국대학교 건축학부(건축공학과 건축구조)
3) 학위 : 공학석사 (2022년 2월 졸업) / ㈜이레구조내진기술 취업



○ 연구시설장비

- 명칭 : 균열 콘크리트 제작 및 실험시스템

○ 기술요약정보

- 기술명 : WSA스터드 앵커
- 요약 내용 : 비균열콘크리트에 적용 가능한 후설치 앵커
- 기술 완성도 : 90%

○ 시제품(본 연구과제 개발 앵커)

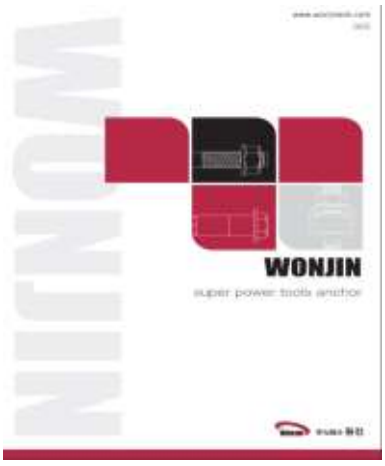
- 명칭 : WSA 스터드 앵커(관통부착형 중간 하중 앵커)



○ 성과홍보 (2021년도 가을 한국콘크리트학회 학술대회)

- 일시(장소) : 2021년 11월 3일 ~ 5일 (경주 화백컨벤션센터)







○ 일자리 창출

1) 성명 : 유종수

2) 소속 : ㈜원진 기술개발실



(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	슬리브 및 헤드 길이에 따른 후설치 앵커의 인발성능평가	한국구조물진단 유지관리공학회 논문집	허무원	제25권 제2호	대한민국	한국구조물진단 유지관리공학회	비SCIE	2021.04	2234-6937	100
2	유효묻힘깊이와 콘크리트 강도를 고려한 후설치 앵커의 설계식 평가	한국구조물진단 유지관리공학회 논문집	허무원	제25권 제3호	대한민국	한국구조물진단 유지관리공학회	비SCIE	2021.06	2234-6937	100
3	거푸집 패널이 부착된 2방향 중공슬래브의 뚫림전단 안전성 평가	한국구조물진단 유지관리공학회 논문집	허무원	제25권 제5호	대한민국	한국구조물진단 유지관리공학회	비SCIE	2021.10	2234-6937	100
4	거푸집 패널이 부착된 중공슬래브의 안전성 평가	한국구조물진단 유지관리공학회 논문집	허무원	제25권 제6호	대한민국	한국구조물진단 유지관리공학회	비SCIE	2021.12	2234-6937	100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국구조물진단 유지관리공학회 2020년도 가을 학술발표회	슬리브 형상 헤드부를 개선한 후설치 앵커 개발	채경훈	2020.11	한국과학 기술회관	대한민국
2	한국구조물진단 유지관리공학회 2021년도 봄 학술발표회	시공조건에 따른 후설치 앵커의 성능평가	채경훈	2021.06	파라다이스 호텔 부산	대한민국
3	한국구조물진단 유지관리공학회 2021년도 봄 학술발표회	중공슬래브의 장기처짐 계측	허무원	2021.06	파라다이스 호텔 부산	대한민국
4	한국구조물진단 유지관리공학회 2021년도 가을 학술발표회	균열 콘크리트에서의 비틀림 확장앵커 인발성능평가	채경훈	2021.11	휘닉스 제주 섭지코지	대한민국
5	대한건축학회 2021년 춘계학술발표대회	신뢰성시험을 통한 후설치 앵커의 성능평가	채경훈	2021.04	제주국제 컨벤션센터	대한민국
6	한국콘크리트학회 2021년 가을 학술대회	균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 인장강도 평가	채경훈	2021.11	경주 화백 컨벤션센터	대한민국

□ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식
1	2021	WSA-S 스터드 앵커	비균열콘크리트에 적용 가능한 후설치 앵커	90%	원진-2021-101~105	각종 구조시설물에 적용	-	무	-

□ 보고서 원문 - 해당사항 없음

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 - 해당사항 없음

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	에폭시 주머니를 포함하는 앵커	대한민국	박태원, 허무원, 채경훈	2020. 06.17	10-2020-0073865	박태원, 허무원, 채경훈	2021. 03.09	10-2227880	100	
2	특허	다수의 확장슬리브를 포함하는 앵커	대한민국	박태원, 허무원, 채경훈	2020. 06.17	10-2020-0073866	박태원, 허무원, 채경훈	2021. 03.22	10-2232854	100	
3	특허	에폭시 주머니를 포함하는 앵커	중국	박태원, 허무원, 채경훈, 이상현	2020. 10.30	-	-	-	-	100	
4	특허	다수의 확장슬리브를 포함하는 앵커	중국	박태원, 허무원, 채경훈, 이상현	2020. 10.30	-	-	-	-	100	
5	특허	다수의 확장슬리브를 포함하는 앵커	베트남	박태원, 허무원, 채경훈, 이상현	2020. 12.21	1-2020-07408	-	-	-	100	
6	특허	균열 콘크리트 시험체 및 이를 이용한 방법	대한민국	박태원, 허무원, 이상현, 채경훈	2021. 08.20	10-2021-0110227	-	-	-	100	

o 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타
1										√	
2										√	
3										√	
4										√	
5										√	
6										√	

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등) - 현재 진행 중

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율

□ 신기술 지정 - 해당사항 없음

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

□ 기술 및 제품 인증 - 해당사항 없음

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

□ 표준화

ㅇ 국내표준 - 해당사항 없음

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

ㅇ 국제표준 - 해당사항 없음

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	WSA-S 스터드 앵커	2021.10	㈜원진	단국대학교 구조실험동	구조	3년	KTR	2021.12

□ 현장적용 - 해당사항 없음

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)
1	기술 노하우 이전	부착식 앵커 접합부의 전단강도 설계 기술	㈜네오이지텍	2021.09.30	2021	10,000

□ 사업화 투자실적 - 해당사항 없음

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)

□ 사업화 현황 - 해당사항 없음

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

□ 매출 실적(누적) - 해당사항 없음

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
합계						

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과			단계적 자동화를 통한 원가절감 및 품질확보		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		3~5		
	소요예산(천원)		1,000,000		
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
			22,000,000	43,000,000	57,000,000
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	23	25	35
		국외	77	75	65
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		내진용 후설치 앵커의 양산화 개발		
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
			5,060,000	10,750,000	19,950,000
	수 출		1,200,000	3,000,000	5,000,000

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			2020년	2021년	
1	국토교통기술혁신연구	㈜원진	0	1	1
합계			0	1	1

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	㈜원진(1명)
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	

□ 비용 절감(누적) - 해당사항 없음

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도	2023년	2024년	2025년	2025년	2025년	2025년	
기대 목표	WSA 스터드 앵커 대량 생산	국외산 앵커 대체	중국 및 동남아 시장 점유율 확대	30억	150% 증가	6명	

□ 산업 지원(기술지도) - 해당사항 없음

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

□ 기술 무역 - 해당사항 없음

(단위 : 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	총 계약액	기 징수액	해당 연도	징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영 - 해당사항 없음

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용 - 해당사항 없음

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영 - 해당사항 없음

번호	구 분 (설계기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)
1	원진	2021년 3월 15일	2021.3.15.~현재	1	0

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	대학	2022		1			1		1				

□ 산업 기술 인력 양성 - 해당사항 없음

번호	연도	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용 - 해당사항 없음

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

□ 국제화 협력성과 - 해당사항 없음

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	제품홍보		2021년도 가을한국콘크리트학회 학술대회 제품홍보	2021.11.03. ~ 2021.11.05

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	수상명	수상 내용	수상 대상	수상일	수상 기관
1	수상	논문상	한국구조물진단유지관리공학회 우수 논문상 수상	박태원	2021.11.18	한국구조물진단유지관리공학회
2	수상	유관기관장상 (k-water)	한국콘크리트학회 제1회 콘크리트 창의설계 경진대회 창의설계분야 아이디어부문 수상	안영승, 채경훈	2021.11.12	한국콘크리트학회

[인프라 성과]

□ 연구시설・장비 - 해당사항 없음

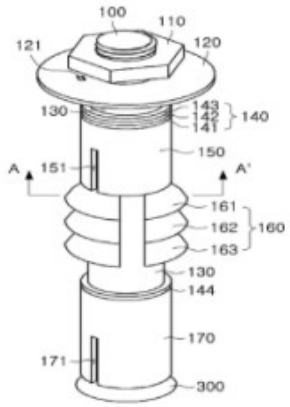
번호	구축 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설・장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설・장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.mm.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

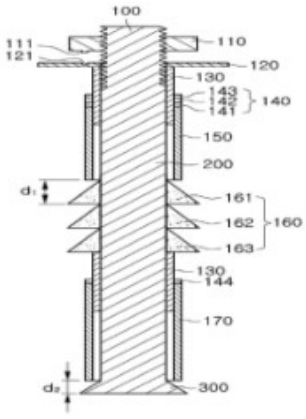
(3) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항

○ 특허성과

1) 발명의 명칭 : 다수의 확장슬리브를 포함하는 앵커

- 출원일자 : 2020년 06월 17일
- 출원번호 : 10-2020-0073866
- 출원인 / 발명자 명칭 : 단국대학교 산학협력단 / 박태원, 허무원, 채경훈
- 등록일자 : 2021년 03월 22일
- 등록번호 : 10-2232854
- 본 발명은 다수의 확장슬리브를 통해 앵커와 콘크리트와의 마찰력 및 걸림력에 의한 지지력이 증가하여 부착력이 상승하고 견고하게 결합되는 앵커임.







2) 발명의 명칭 : 다수의 확장슬리브를 포함하는 앵커

- 출원일자 : 2020년 12월 21일
- 출원번호 : 10-2020-07408
- 출원인 / 발명자 명칭 : 단국대학교 산학협력단 / 박태원, 허무원, 채경훈, 이상현
- **출원국가 : 베트남**
- 본 발명은 다수의 확장슬리브를 통해 앵커와 콘크리트와의 마찰력 및 걸림력에 의한 지지력이 증가하여 부착력이 상승하고 견고하게 결합되는 앵커임.

3) 발명의 명칭 : 다수의 확장슬리브를 포함하는 앵커

- 출원일자 : 2020년 10월 30일
- 출원인 / 발명자 명칭 : 단국대학교 산학협력단 / 박태원, 허무원, 채경훈, 이상현
- **출원국가 : 중국**
- 본 발명은 다수의 확장슬리브를 통해 앵커와 콘크리트와의 마찰력 및 걸림력에 의한 지지력이 증가하여 부착력이 상승하고 견고하게 결합되는 앵커임.

4) 발명의 명칭 : 에폭시 주머니를 포함하는 앵커

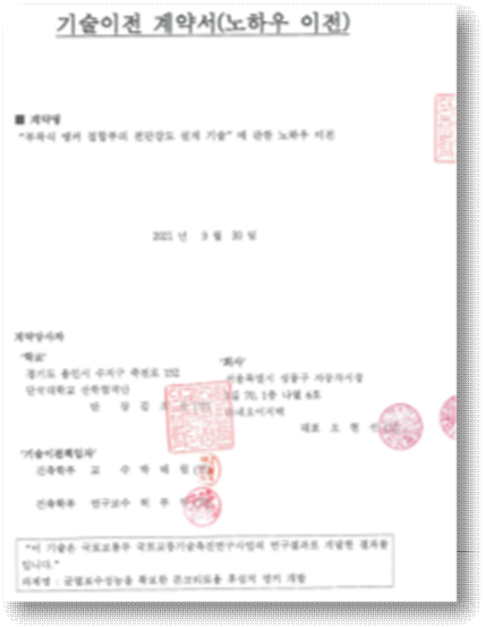
- 출원일자 : 2020년 10월 30일
- 출원인 / 발명자 명칭 : 단국대학교 산학협력단 / 박태원, 허무원, 채경훈, 이상현
- **출원국가 : 중국**
- 본 발명은 슬리브 확장과 에폭시 주머니 파쇄가 동시에 이루어지는 앵커로써 시공단계 단축 및 앵커 성능을 개선함. 또한, 에폭시 주입으로 인해 콘크리트 균열을 보강할 수 있는 앵커임.



○ 기술이전

1) 계약명 : “부착식 앵커 접합부의 전단강도 설계 기술“에 관한 노하우 이전

- 계약일 : 2021년 09월 30일
- 기술실시 대상기관 : ㈜네오이지텍





○ 포상 및 수상실적

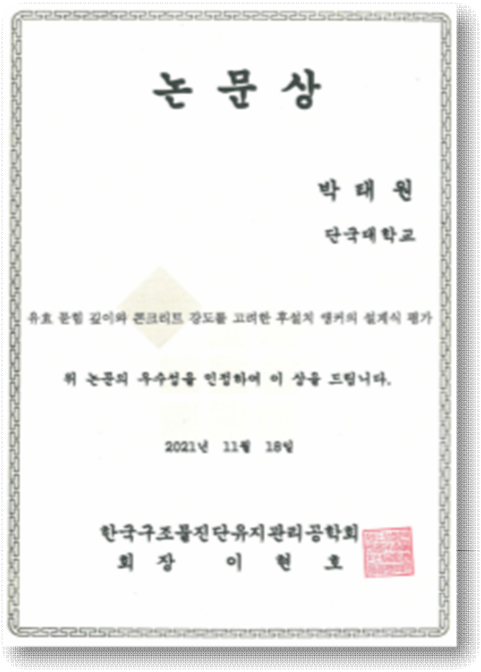
1) 수상명 : 우수 논문상 (유효 묻힘 깊이와 콘크리트 강도를 고려한 후설치 앵커의 설계식 평가)

- 내용 : 한국구조물진단유지관리공학회 우수 논문상 수상
- 수상대상 : 박태원
- 수상일 : 2021년 11월 17일
- 수상기관 : 한국구조물진단유지관리공학회



유효 묻힘 깊이와 콘크리트 강도를 고려한 후설치 앵커의 설계식 평가

Design Evaluation of the Post-installed Anchor considering Effective Embedded Depth and Concrete Strength



논 문 상

박 대 원

단국대학교

유효 묻힘 깊이와 콘크리트 강도를 고려한 후설치 앵커의 설계식 평가

위 논문의 우수성을 인정하여 이 상을 드립니다.

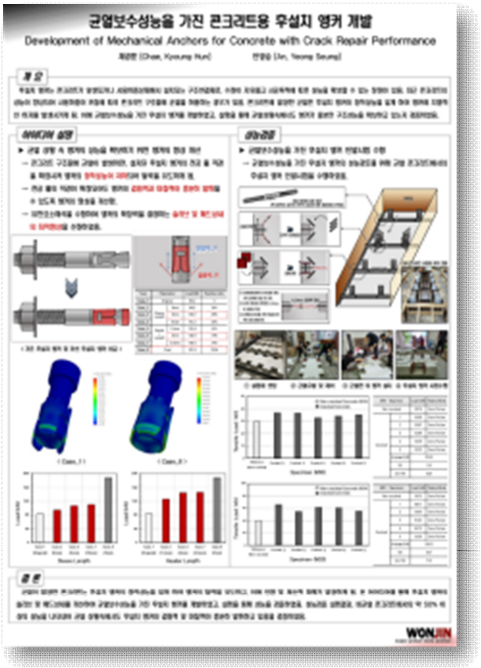
2021년 11월 18일

한국구조물진단유지관리공학회

회 장 이 현 호

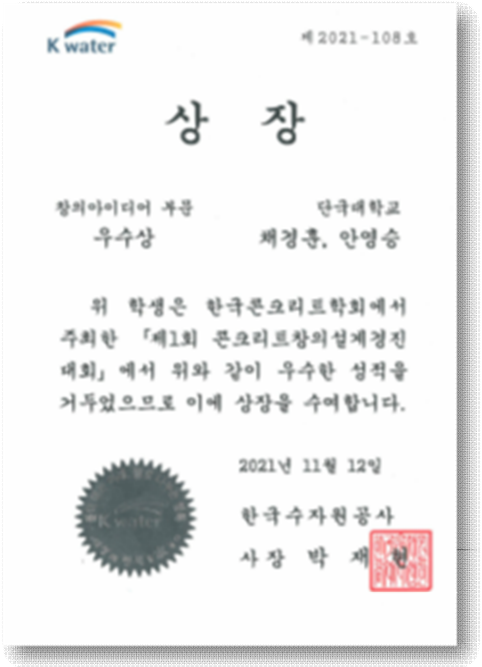
2) 수상명 : 유관기관장상(k-water)

- 내용 : 한국콘크리트학회 제1회 콘크리트 창의설계 경진대회 창의설계분야 아이디어 부문 수상
- 수상대상 : 안영승, 채경훈
- 수상일 : 2021년 11월 12일
- 수상기관 : 한국콘크리트학회



균열보수성능을 가진 콘크리트용 후설치 앵커 개발

Development of Mechanical Anchors for Concrete with Crack Repair Performance



K water

제2021-108호

상 장

창의아이디어 부문 우수상

단국대학교 채경훈, 안영승

위 학생은 한국콘크리트학회에서 주최한 「제1회 콘크리트창의설계경진대회」에서 위와 같이 우수한 성적을 거두었으므로 이에 상장을 수여합니다.

2021년 11월 12일

한국수자원공사 사장 박 재 현

2) 목표 달성 수준

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
후설치 앵커의 성능개선	- 기존 후설치 앵커의 인발 및 전단성능을 향상시키기 위해 유한요소해석을 수행하였음. 이에 후설치 앵커의 최적 형상(슬리브 및 헤드부)을 선정하였고 인발 및 전단성능이 개선된 후설치 앵커를 개발함. - 인발 및 전단성능이 개선된 후설치 앵커의 성능검증을 위해 국내 학회에서 발간한 '콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집'에 명시된 시험기준을 따라 성능검증실험을 수행하였고, 이를 DB화함.	100
각 직경별 앵커의 성능검증실험	- 실험결과에 의하면 각 직경별 앵커의 성능은 기존 후설치 앵커 및 설계강도 값을 상회하였음. 또한, 앵커의 변동계수가 각 시험조건별 변동계수 허용기준 내 값을 만족하였음.	100
균열보수성능을 갖는 후설치 앵커 성능검증	- 균열이 발생한 콘크리트 제작 및 실험방법을 개발하였고, 이를 적용하여 국내에서도 후설치 앵커의 균열보수성능을 검증할 수 있는 시스템을 구축하였음. - 본 연구에서 개발한 균열 콘크리트 시스템을 적용하여 1차년도에 개발한 후설치 앵커를 대상으로 균열보수성능 검증실험을 수행하였음. 실험결과, 연구목표인 비균열 콘크리트의 50% 동등이상의 성능을 나타내었음.	100
콘크리트 모재에 균열 유발 및 앵커 성능실험시스템 개발	- 비균열 및 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 성능검증 시험결과를 DB화하여 후설치 앵커의 설계를 위한 프로그램을 개발하였음.	100

4. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○ 코로나로 인해 실험 시스템 구축과 후설치 앵커의 성능검증시험이 지연됨.

○ 본 연구에서 계획한 연구성과 중 SCI 논문 2건, SW 1건을 달성하지 못하였음.
- 4. 2)의 자체보완활동 참조

2) 자체 보완활동

○ 코로나로 인해 실험보다는 아이디어를 통한 특허기술에 매진함.
- 특허출원 1건 및 해외출원 3건을 추가함.

○ 미달성 연구성과에 대한 보완 활동 추진계획
- SCI급 논문 2건 중, 1건은 현재 SCI 등재 학회(Construction and Building Materials)에 투고하여 진행중 임. 나머지 1건은 국내 앵커 설계기준 개정에 의해 수정 중이며, 2022년 5월 초 투고 예정임.
- SW 1건은 국내 앵커 설계기준을 반영하여 업데이트 작업을 진행하고 있으며, 2022년 4월 18 ~ 19일 프로그램 개발이 완료될 예정임.

3) 연구개발 과정의 성실성

○ 정착성능(걸림력과 마찰력)을 개선한 후설치 앵커 개발
- 기존 연구 분석을 통한 슬리브와 헤드 길이를 개선한 후설치 앵커 개발
- 기존 후설치 앵커와 개선된 후설치 앵커의 성능 평가 및 분석
- 개발된 후설치 앵커의 성능 시험을 통한 검증

○ 균열 콘크리트용 후설치 앵커 성능실험을 위한 시스템 개발 및 성능검증
- 균열 콘크리트용 후설치 앵커 시험 시스템 개발
- 개발된 후설치 앵커를 활용하여 균열 콘크리트용 성능 시험 및 평가

○ 코로나로 인해 실험 시스템 구축과 후설치 앵커의 성능시험 지연됨. 이로 인해 결과 도출에 차질이 발생하여 현재 해외논문 1편은 심사 중이며, 1편은 작성 중에 있음.

○ 특허출원 3건, 특허등록 2건, 해외출원 3건, 국내 학술지 논문 4건 및 국내학술발표회 6회 등 정량적 결과를 도출함.

5. 추후 보완 연구 필요사항

○ 개발된 후설치 앵커의 설치 후 성능 유지를 위한 장기적인 성능모니터링
○ 개발된 후설치 앵커의 자재비 및 인건비 등의 시공조건을 고려한 상세 경제성 분석 필요

6. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 개발된 후설치 앵커의 성능 검증을 통한 균열보수성능이 구비된 앵커 분야 학문 선진화함.
○ 후설치 앵커의 설계 방법 정립함과 동시에 균열콘크리트 적용 후설치 앵커 성능 향상 기술 확보함.
○ 관련 연구 진행에 있어 이론적 바탕 제공함.
○ 후설치 앵커 관련 분야 학문 선진화
○ 후설치 앵커 관련 설계 및 엔지니어링 기술력 확보를 통한 인력양성

7. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

○ 본 연구에서 확보한 비균열 및 균열 콘크리트에서의 후설치 앵커 DB를 적극 활용하여 국내 후설치 앵커 및 앵커 설계 프로그램 기술력 향상

○ 추후 연구를 통해 향상된 정착성능과 균열보수성능을 가진 후설치 앵커의 특허를 활용한 성능검증 관련 연구를 수행할 예정임.

○ 다양한 구조물에 활용이 가능한 고성능 건설자재 및 소재의 생산성 향상과 적용기술 개발 활용

○ 비균열 및 균열 콘크리트의 DB를 활용하여 실험데이터 구축을 통해 해외기준 검증 및 국내기술에 부합한 콘크리트 앵커 설계법 제안의 기초원천 자료로 활용가능

○ 초고층 커튼월, 석재, 외장패널, 설비 및 휀스 등 다양한 건설 기반 시설에 적용 가능하며, 인명과 직접적 관계가 있는 엘리베이터 레일 고정, 도로공사 및 교각 구조물 등의 시설물에도 활용이 가능함.

○ 기술적 측면

- 상세 개발을 통한 고성능 앵커의 해외기술 의존도 해소 및 세계 동등수준 기술확보
- 건축 및 토목구조물 등 사회기반 시설물에 대한 사용성 증가 및 내구성능 향상기술 확보
- 균열보수가 가능한 후설치 앵커의 개발을 통한 국내 콘크리트용 앵커 시스템 기술력 향상 가능

○ 경제적·산업적 측면

- 균열 후 앵커의 보수방안을 제시하여 구조체의 수명연장 가능
- 국내제품 해외수출을 위한 성능평가 DB구축 및 외산자재 국산화 대체가능

○ 사회적 측면

- 앵커 주위 균열로 인한 2차 사고방지에 따른 안전한 사회 구축
- 내진보강공사에 사용되는 앵커 성능 향상을 통한 내진보강사업 현실화 가능

8. 참고 문헌

1. Kim, S. W., 2020, Seismic Performance Evaluation of Non-Seismic Reinforced Concrete Buildings Strengthened by Perimeter Steel Moment Frame, Journal of Earthquake Engineer Society of Korea, 24(5), pp.233-241.
2. Lee B. G., Hwang D. S., Choi Y. C., Kim Y. S., Lee K. S., 2019, Seismic capacity evaluation of full-size two-story R/C frame strengthened with HSWF external connection method by pseudo-dynamic test. Journal of the Korea Concrete Institute, 31(1), pp. 89-97.
3. Jung H. C., Jung J. S., Lee K.S., 2019, Seismic performance evaluation of internal steel frame connection method for seismic strengthening by cycling load test and nonlinear analysis. Journal of the Korea Concrete Institute. 31(1), pp.79-88.
4. Hur, M. W., Chae, K. H., An, Y. S., Park, T. W., 2019, An Performance Evaluation of Post-installed Anchor according to the Effective Embedment Length, Journal of the Korean Institute of Educational Facilities, 26(4), pp.19-25.
5. ACI Committee 355.2, 2011, Evaluating the Performance of Post- Installed Mechanical Anchors in Concrete.
6. ACI Committee 318, 2019, Building Code Requirements For Structural Concrete and Commentary.
7. ETAG, 1997, GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL OF METAL ANCHORS FOR USEI N CON- CRETE.
8. ETAG, 2003, GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL OF METAL ANCHORS FOR USE IN CON- CRETE.
9. John E. Breen, Eva-Maria Eichinger, Wemer Fuchs, 2001, Connections between Steel and Concret e, Inter- national Symposium, Volume one, pp.31-42.
10. ACI Committee ACI 349.2R-07(14), 2014, Guide to The Concrete Capacity Desging (CCD) Method-Embedment Design Examples, American Concrete Institute Committee.
1. ACI Committee 355.2, (2011) Evaluating the Performance of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete.
2. ACI Committee 318, (2011) Building Code Requirements For Structural Concrete and Commentary.
3. ETAG, (2003) GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL OF METAL ANCHORS FOR USEIN CONCRETE.
4. Korean Building and Commentary, (2016) Architectural Institute of Korea.
5. HILTI, 2016, Hilti Technical report.
6. J. Lubliner, J. Oliver, S. Oller, E. Oñate, (1989) A plastic-damage model for concrete, International Journal of Solids and Structures, 25(3), pp. 299-326.
7. Bang. J. S., Youn. I. R., Kwon. Y. S., Yim. H. J., (2020) Nonlinear Tensile Behavior Analysis of Torque-controlled Expansion Anchors Using Finite Element Analysis, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 24(4), pp.91-99.
8. Delhomme, F., Pallud, B., and Rouane, N. (2018) Tightening Torque Influence on Pullout Behavior of Post-installed Expansion Anchors. KSCE Journal of Civil Engineering, 22(10), 3931-3939.
9. Chen, Z., Nassiri, S., Lamanna, A., and Cofer, W. (2020) Investi- gation of Pull-Through and Pull out Failure Modes of Torque -Controlled Expansion Anchors. ACI Structural Journal, 117(1).
10. Gontarz, J., and Podgórski, J. (2019) Analysis of crack propagation in a “pull-out” test. Studia Geotechnica et Mechanica.
11. Tsavdaridis, K. D., Shaheen, M. A., Baniotopoulos, C., and Salem, E., (2016) Analytical approa ch of anchor rod stiffness and steel base plate calculation under tension. In Structures , 5, pp.

207-218.
12. Mahrenholtz, P., and Eligehausen, R. (2015) Post-installed concrete anchors in nuclear power plants: Performance and qualification. Nuclear Engineering and Design, 287, 48-56.
13. Karmazínová, M., Melcher, J., and Kala, Z. (2009). Design of expansion anchors to concrete based on results of experimental verification. Advanced Steel Construction, 5(4), 390-405.
14. Kim, J. S., Jung, W. Y., Kwon, M. H., and Ju, B. S. (2013) Performance evaluation of the post-installed anchor for sign structure in South Korea. Construction and Building Materials, 44, 496-506.
15. KCI, 2018, Anchor design method and sample for concrete.
16. Hur. M. W., Chae. K. H., An. Y. S., Park. T. W., (2019) An Performance Evaluation of Post-installed Anchor according to the Effective Embedment Length, Journal of the Korean Institute of Educational Facilities, 131(7), pp.19-25.

< 별첨 >

별첨 자료
1. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료
2. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료(총 연구개발기간 성과점검기준표 실적 증빙자료에 기 포함되어 있는 증빙자료 제외)

[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 '국토교통기술촉진연구사업' 연구개발과제 최종보고서이다.

2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.