

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

‘콘크리트 압송 20% 향상 운할층 활성화 기술 개발’ (연구개발 기간 : 2017. 04. ~ 2019. 1 2.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2020. 02. 28.

주관연구기관명 : (주)케이우스코리아 (대표자) 유 용 선 (인)

협동연구기관명 : 명지대학교 산학협력단 (대표자) 한 승 수 (인)

주관연구기관책임자: 한 진 규

협동연구기관책임자: 권 승 희

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19TBIP-C12 5366-03	해당 단계 연구 기간	19.01.~19.12	단계구분	3단계/ 3단계
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	국토교통기술사업화지원사업			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	콘크리트 압송 20% 향상 윤회층 활성화 기술 개발			
연구책임자	한진규	해당단계 참여연구원 수	총: 11명 내부: 11명 외부: 0명	해당단계 연구비	정부: 500,000천원 민간: 340,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 840,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 11명 내부: 11명 외부: 0명	총 연구비	정부: 1,311,500천원 민간: 889,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 2,200,500천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)케미우스코리아 기술연구소			참여기업명 (주)케미우스코리아	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
협동연구기관	연구기관명: 명지대학교 산학협력단			연구책임자: 권 승 희	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	보안등급 : 일반 결정사유 : 본 과제는 산-학의 공동연구를 통해 사업화를 목적으로 함. 따라서 본 과제는 특수한 보안 요건에 해당되지 않는 것으로 판단됨.
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

보고서 면수 51

요약문

연구의 목적 및 내용	이 연구의 목표는 윤활층 활성화제 주입 기술을 개발하여 콘크리트 펌핑 압력을 20% 이상 감소시켜 기존의 콘크리트 펌핑 시공의 한계점을 극복하고 펌핑 성능을 크게 향상시키는데 있다. 연구내용은 기술 개발, 적용 및 검토, 예측 방법 제안으로 구성된다. - 기술 개발 - 윤활층 활성화제 개발 - 윤활층 활성화제 주입장치 개발 - 적용 및 검토 - 실내 모르타르 펌핑 실험을 통한 개발 기술 검토 - 실규모 콘크리트 펌핑 실험을 통한 기술 적용성 검토 - 윤활층 활성화제 주입 기술의 현장 적용 - 예측 방법 제안 - 모르타르의 펌핑성능 향상 예측 방법 제안 - 콘크리트의 펌핑성능 향상 예측 방법 제안				
연구개발성과	이 연구에서는 윤활층 활성화제 주입 기술을 개발하였으며, 콘크리트 펌핑에 적용할 경우 최대 60.2%의 압력 감소효과를 확인하였다. 연구과정에서 얻은 단위성과는 다음과 같다. - 윤활층 활성화제 개발 - 윤활층 점도감소 효과 30% 이상 - 콘크리트 재료특성(강도) 감소 5% 미만 - 윤활층 활성화제 주입장치 개발 제어부 : 주입 압력 최대 250 bar, 0.5~10.0 L/min. 주입 주입부 : 윤활층 활성화제의 관내 균등 분사 - 콘크리트 펌핑 효율 예측(평가) 기법 제안 - 윤활층 활성화제 주입 시 모르타르 펌핑성능 향상 90% 이상 정확도 예측 - 윤활층 활성화제 주입 시 콘크리트 펌핑성능 향상 90% 이상 정확도 예측				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	(경제적 기대효과) 콘크리트 펌핑 시 윤활층 활성화 시스템을 적용할 경우 목표 토출량을 확보하기 위해 요구되는 압력이 감소하고, 반대로 동일한 압력의 펌프 성능으로 토출량 증가 효과를 기대할 수 있다. 이 효과로 인해 펌프의 요구 성능을 감소시킬 수 있으며, 토출량 증가로 인한 공기 단축이 가능하게 되어 보다 경제적인 공사비 운용을 할 수 있다. (기술적 기대효과) 윤활층 활성화 시스템의 개발을 통해 장거리 펌핑에 어려움이 있는 고성능 콘크리트의 활용도를 높일 수 있으며, 이 기술을 통해 윤활층 형성이 어려운 콘크리트의 펌핑이 가능해진다. 또한 기술적인 한계였던 수평 1 km, 수직 600 m 펌핑 거리를 효과적으로 증대시켜 초고층빌딩, 초장대교량, 장거리터널과 같은 세계적인 건설 시장에서 기술적인 우위를 점할 수 있을 것으로 판단된다. (사업화) 국내·외 초대형 구조물 건설 시장이 지속적 증가함에 따라 “윤활층 활성화 시스템”의 수요 또한 높아질 것으로 판단된다. 개발 종료 후 4년 내에 연간 수익원 수준의 매출이 발생할 것으로 예상되며, 해외 현장 진출 및 제품 판매도 활발하게 진행될 것으로 판단된다.				
국문핵심어 (5개 이내)	콘크리트 펌프 압송	펌핑성능 향상	윤활층	윤활층 활성화제	예측
영문핵심어 (5개 이내)	Concrete pumping	Enhancement of pumpability	Lubricating layer	Activation agent	Prediction

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
1.1 연구개발 배경 및 목적	1
1.2 연구개발 기술의 원리 및 기대효과	2
1.2.1 콘크리트 펌핑 중 파이프 내부의 흐름	2
1.2.2 윤활층 활성화제 주입 기술의 원리	3
1.2.3 윤활층 활성화제 주입 기술의 기대효과	4
2. 연구수행내용 및 성과	6
2.1 연구내용 및 결과	6
2.1.1 윤활층 활성화제 개발	6
2.1.2 실내 모르타르 펌핑 실험을 통한 개발 기술 검토	9
2.1.3 윤활층 활성화제 주입 장치 개발	13
2.1.4 실규모 콘크리트 펌핑 실험을 통한 기술 적용성 검토	15
2.1.5 윤활층 활성화제 주입 전과 후의 물성 변화 검토	22
2.1.6 윤활층 활성화제 주입 기술의 현장 적용	24
2.1.7 윤활층 활성화제 주입에 의한 펌핑성능 향상 예측	33
2.2 연구수행 성과	37
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	39
3.1 목표	39
3.2 목표 달성여부	40
3.3 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)	41
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	42
4.1 사업화 전략	42
4.1.1 개발기술의 생산특성	42
4.1.2 기존 자원 활용정도	42
4.1.3 국내·외 시장규모 및 전망	42
4.1.4 최종제품의 제품경쟁력 수준	43
4.1.5 비즈니스 모델	44
4.2 판매계획 및 전략	45
4.2.1 연도별 판매계획	45
4.2.2 국내외 판매 마케팅 전략	46
4.3 성과물의 활용방안	47
4.4 기대성과 및 파급효과	48

4.4.1 과학기술적 측면	48
4.4.2 사회·경제적 측면	48
4.4.3 정책적 측면	48

붙임. 참고 문헌	49
-----------------	----

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

1. 연구개발과제의 개요

1.1. 연구개발 배경 및 목적

- 펌핑은 건설현장에서 콘크리트를 타설 위치까지 이동시키는 일반적인 방법이다. 이 방법은 콘크리트를 목표 위치로 빠르게 이송할 수 있으며, 이송 방향을 수직 또는 수평으로 자유롭게 변경할 수 있다는 장점이 있다. 실제 현장에서는 펌프카를 사용한 60 m 이하의 단거리 펌핑뿐만 아니라 대형 펌프를 사용한 수직 500 m 이상 또는 수평 1,000 m 이상까지의 펌핑도 이루어지고 있다.
- 시공 전 단계에서 펌프의 종류 및 파이프 직경의 결정, 공기 산출, 펌핑 가능 여부 평가 등을 위한 정량적인 수치들이 요구됨에 따라 콘크리트 펌핑의 메커니즘 규명과 예측에 대한 연구들이 수행되어 왔다.
- Choi et al.[1]은 ultrasonic velocity profiler(UVP)를 사용하여 콘크리트 펌핑 중 파이프 내부의 속도분포를 관측하였다. 그 결과 파이프 내벽 근처에 약 2 mm의 얇은 윤활층이 자체 형성되며, 이 윤활층에서 파이프 내부 유속 대부분이 발현되는 것을 확인하였다.
- Jo et al.[2]은 전단이 높은 곳에서 낮은 곳으로 입자들이 이동하는 shear induced particle migration(SIPM)에 의해 윤활층이 형성된다고 설명하였다. 또한 콘크리트 펌핑 실험과 이 실험을 모사하는 수치해석을 수행하였으며, 콘크리트와 윤활층의 유동특성(점도, 항복응력) 중 윤활층의 점도가 콘크리트 펌핑성능을 결정짓는 주요 인자라고 평가하였다.
- 많은 연구자들에 의해 윤활층의 유동특성을 측정하는 다양한 방법들[3-10]과 측정된 윤활층을 활용하여 콘크리트의 펌핑성능을 예측하는 방법들[3,10-11]이 제안되었다. 또한 다양한 실험 연구를 통해 펌핑성능 예측 결과가 실제와 유사하다는 것이 검증되었다 [3,10-13].
- 최근에는 펌핑성능 예측 방법을 통해 콘크리트의 배합 재료와 구성 비율이 펌핑성능에 끼치는 영향을 파악하려는 연구들이 이루어져왔다.
- Choi et al.[14]은 굵은 골재의 최대 치수와 압축강도를 달리한 9가지 콘크리트 배합을 사용하여 실규모 펌핑 실험을 수행하였다. 이 과정에서 윤활층의 유동특성을 측정하였으며, 굵은 골재의 크기가 작을수록 윤활층의 점도가 감소하고 펌핑성능이 증가함을 확인하였다.
- Jeong et al.[15]은 광물성 혼화재의 치환비율과 화학 혼화재의 사용량을 각각 달리한 32가지 배합을 대상으로 콘크리트 및 윤활층의 유동특성을 측정하였으며, 기존의 예측 방법[5]을 사용하여 펌핑성능을 검토하였다. 그 결과 지르코니아 실리카흙과 고성능감수제(HRWRA)를 배합 재료로 사용하였을 때 펌핑 성능이 가장 크게 향상되는 것을 확인하였다.
- 이러한 기존 연구성과에도 불구하고, 콘크리트의 작업성, 펌핑거리 및 높이, 펌프 및 파이프 성능의 다양성과 한계로 인해 콘크리트의 펌핑성능을 향상시키려는 노력이 꾸준히

이루어지고 있다.

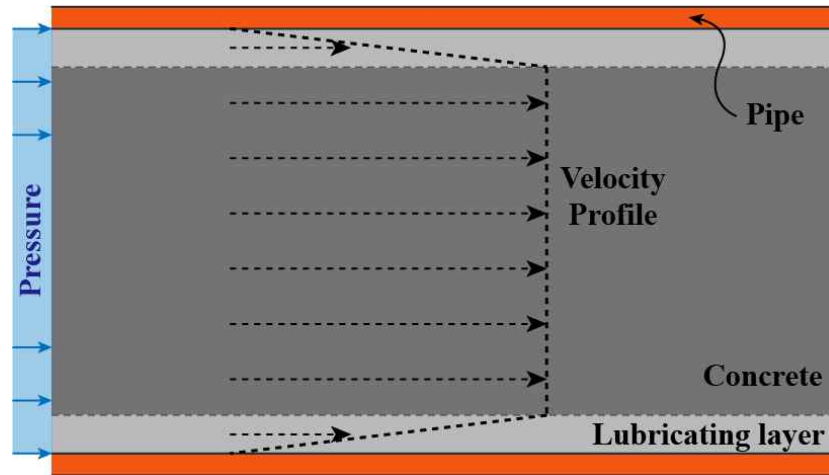
- 콘크리트의 펌핑거리와 토출량을 증가시키고자 할 때 최대 압력이 크고 토출량이 높은 펌프를 사용할 수 있다. 그러나 고사양의 펌프는 비용 증가를 초래할 수 있으며, 초고층 건물과 같은 대형 구조물 시공의 경우 최고 사양의 펌프로도 목표 펌핑 높이 또는 목표 토출량을 확보하는데 한계가 있다.
- 파이프의 직경을 증가시키면 펌핑되는 콘크리트 체적 대비 마찰면적이 줄어들어 펌핑 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 실제 시공에서 펌핑성능 향상을 위해 5 in 직경의 파이프를 6 in 직경으로 변경하는 경우가 일반적이다. 그러나 직경이 큰 경우 파이프의 설치 및 유지비용이 크게 증가하여 대형 구조물 시공에서 장기간 사용하기에는 경제적인 부담이 매우 크다.
- 펌핑성능 향상을 위한 또 다른 방법은 콘크리트의 유동특성을 제어하는 것이다. 감수제, 유동화제와 같은 화학 혼화제 또는 플라이애쉬, 실리카흄과 같은 광물계 혼화제를 사용하여 콘크리트의 유동특성을 제어하는 기술이 보편적이다. 그러나 콘크리트 펌핑성능은 윤활층의 점도에 의해 결정된다. 파이프 내부 벽면 부근 얇은 윤활층의 성능을 개선하기 위해 콘크리트 전체의 유동특성을 수정하는 것은 비경제적일 수 있으며, 경화된 후 콘크리트의 역학적 특성에 악영향을 줄 수도 있다.
- 다양한 종류의 콘크리트와 도전적인 시공환경으로 인해 펌핑성능을 향상시키는 새로운 방법의 모색이 필요하다.
- 이 연구에서 제안하고자 하는 기술(윤활층 활성화 시스템)은 매우 소량의 윤활층 활성화제를 콘크리트 펌핑 중 파이프 내부로 주입하여 윤활층의 점도를 감소시키고 이를 통해 콘크리트의 펌핑 효율을 증가시키는데 목적이 있다.
- 이 기술은 3가지 요소(윤활층 활성화제 주입 장치, 윤활층 활성화제, 펌핑 성능 향상 예측 기법)로 구성되는 시스템이다.
- 이 기술을 통해 기존 콘크리트 펌핑 기술의 펌핑 거리 한계, 윤활층 소실에 따른 파이프 막힘, 낮은 슬럼프 배합의 장거리 이송 불가 등 다양한 문제점을 해결할 수 있을 것으로 판단된다.
- 이 연구에서는 펌핑 중 파이프 내벽 근처에서 자체 형성되는 윤활층에 소량의 윤활층 활성화제를 주입하여 콘크리트의 펌핑성능을 향상시키는 기술을 개발하고 mock-up 실험, 현장 적용 실험 등을 통해 기술의 검증이 이루어진다. 최종적으로는 신기술 인증을 통한 사업화를 목적으로 하고 있다.

1.2. 연구개발 기술의 원리 및 기대효과

1.2.1. 콘크리트 펌핑 중 파이프 내부의 흐름

- 이 연구에서 제안하는 윤활층 활성화제 주입 기술의 원리를 이해하기 위해서는 다음 그림 1.1에 나타난 펌핑 중 파이프 내부 콘크리트의 흐름을 알 필요가 있다.
- 콘크리트 펌핑 중 파이프 내벽 근처에는 수 밀리미터의 얇은 윤활층(lubricating layer)이 자체적으로 형성된다[1,3-17]. 이 윤활층의 점도는 콘크리트 점도의 약 3% 수준[10]

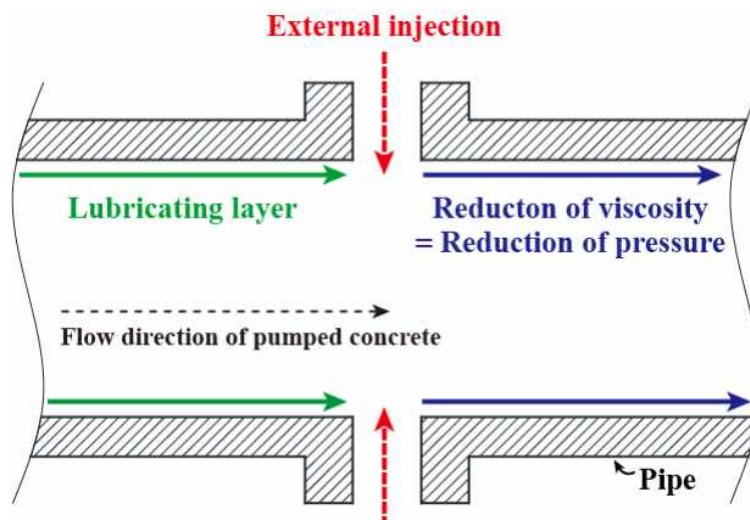
으로 매우 낮기 때문에 파이프 내부의 유속은 그림 1에 나타낸 것과 같이 대부분 내벽 근처에서 발현된다. 따라서, 윤활층의 점도를 낮출 수 있다면 콘크리트의 펌핑성을 크게 향상시킬 수 있다.



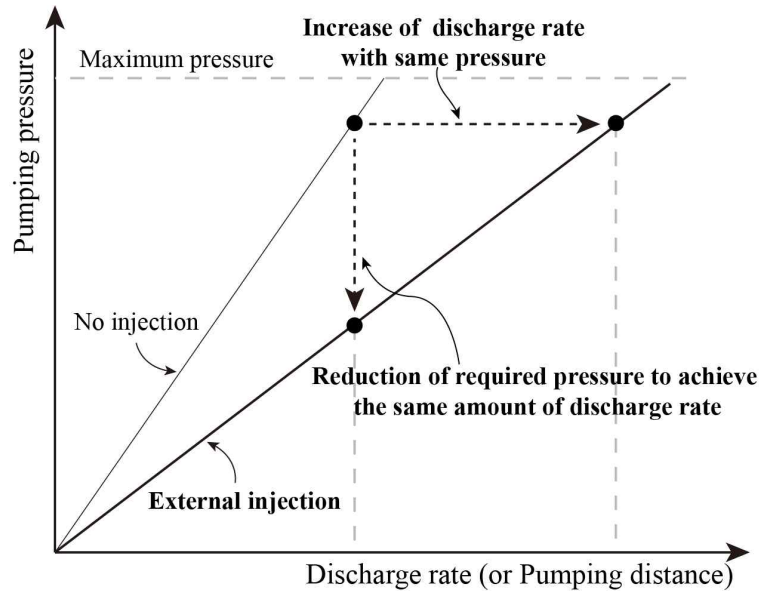
[그림 1.1] 펌핑 중 파이프 내부의 콘크리트 흐름

1.2.2. 윤활층 활성화제 주입 기술의 원리

- 그림 1.2에 나타낸 것과 같이 펌핑 중 파이프 내부로 소량의 윤활층 활성화제를 주입하면 윤활층의 점도는 감소된다. 또한 점도가 감소된 윤활층은 파이프라인을 따라 콘크리트와 함께 이동한다. 결과적으로 동일한 토출량 조건에서 펌핑 압력은 감소하게 된다.
- 콘크리트 펌핑성능 즉 압력과 토출량(또는 펌핑거리) 관계는 그림 1.3에 나타낸 것과 같이 선형적인 관계를 보인다[1,3]. 윤활층 활성화제 주입 기술을 펌핑에 적용하게 되면 이 관계의 기울기는 감소한다. 따라서, 목표 토출량(또는 펌핑거리)을 만족시키기 위한 펌프 압력은 감소하며, 동일한 펌프 압력 조건에서는 토출량(또는 펌핑거리)이 증가하게 된다.



[그림 1.2] 윤활층 활성화제 주입 원리



[그림 1.3] 윤활층 활성화제 주입 기술의 원리

1.2.3. 윤활층 활성화제 주입 기술의 기대효과

▷ 경제적 · 환경적 효과

- 콘크리트 펌핑 시 윤활층 활성화 시스템을 적용할 경우 목표 토출량을 확보하기 위해 요구되는 압력이 감소하고 반대로 동일한 압력의 펌핑 압력으로 토출량의 증가를 기대할 수 있다.
- 이 효과로 인해 펌프의 요구성능을 감소시킬 수 있으며, 토출량 증가로 인한 공기 단축이 가능하게 되어 보다 경제적으로 공사비를 운용할 수 있다.
- 또한 펌프의 연료 소모량이 감소하게 되어 에너지 저감 측면에서 환경적 효과를 얻을 수 있다.

▷ 기술적 효과

- 윤활층 활성화제 주입 기술을 적용한다면 고점도 콘크리트, 저 슬럼프 콘크리트와 같이 펌핑에 어려움이 있는 콘크리트의 활용도를 높일 수 있으며, UHPC와 같은 차세대 재료의 펌핑이 가능해진다.
- 또한 기술적인 한계였던 수평 1.5 km, 수직 600 m 펌핑 거리를 크게 증대시켜 초고층 빌딩, 초장대 교량, 장거리 터널과 같은 세계적인 건설 시장에서 기술적인 우위를 점할 수 있을 것으로 판단된다.

▷ 기술의 독창성

- 이 연구에서 개발된 기술은 콘크리트 펌핑성능을 향상시키는 기술이며, 현재까지 국내 · 외 어디에서도 개발 또는 적용된 바 없다.
- 해외에서는 원유에 물을 주입하는 방법을 통해 장거리 펌핑을 하고 있으나, 이 방법은 단순히 원유와 물의 밀도 차에 의해 서로 섞이지 않는 원리를 이용하고 있으며 특수한

재료가 아닌 물을 다량으로 사용한다는 점에서 본 연구에서 개발한 기술과 차이점이 있다[19,20].

▷ 기술의 활용성

- 초고층 건축물(50층 이상)의 세계시장 규모는 120건/년 정도로 60조/년(평균 공사비 5,000억/건)으로 추정되며, 2025년 약 1,300조원, 2040년에는 약 3,500조원에 이르는 대형 시장이 형성될 것으로 보고되고 있다[21].
- 윤활층 활성화제 주입 기술은 콘크리트의 펌핑성능을 크게 향상시킬 수 있는 기술이며, 실제 콘크리트 펌핑 현장에 이 기술을 적용한다면 파이프의 크기 감소, 공기 단축, 펌프 용량 감소 등 공사비 절감에 큰 효과가 있을 것으로 판단된다.
- 또한 콘크리트와 유사한 파이프 내부 흐름을 보이는 다양한 슬러리 이송 분야에 활용될 수 있다.
- 국내 플랜트 슬러리 중 화력발전소의 부산물인 석탄회의 경우 차량을 통해 운송되고 있으며, 운송비로만 연간 약 470억 정도가 필요한 것으로 보고되고 있다.
- 윤활층 활성화제 주입 기술을 통해 장거리 펌핑 효율을 극대화 할 수 있다면 건설분야 뿐만 아니라 슬러리의 장거리 펌핑이 필요한 다양한 산업분야에서 국가 경쟁력을 확보 할 수 있고 경제적으로도 파급효과가 클 것으로 기대된다.

2. 연구수행내용 및 성과

2.1. 연구내용 및 결과

- 이 연구는 3차년도로 구성되어 있으며, 1차년도 연구기간에는 윤활층 활성화제의 개발, 모르타르 펌핑을 통한 윤활층 활성화제 주입 방법의 검토, 주입장치 개발 연구, 모르타르 펌핑 중 윤활층 활성화제 주입에 의한 압력 감소 예측 연구, 실규모 펌핑 실험을 통한 개발 기술의 검토가 이루어졌다.
- 2차년도 연구기간에는 1차년도 연구에 이어 추가적인 실규모 펌핑 실험이 수행되었으며, 개발된 기술의 현장 적용 실험, 콘크리트 펌핑 성능 향상에 대한 예측 방법 연구가 이루어졌다. 추가적으로 해외 학회(일본 토목학회)에 참여하여 개발 기술의 성과를 홍보하였다.
- 3차년도 연구기간에는 2차년도에 진행된 현장 적용 실험이 지속적으로 이루어졌으며, 콘크리트 펌핑 성능 향상에 대한 예측 방법의 검토가 이루어졌다. 해외 건설 현장에 해당 기술을 적용하여 현장 적용성을 추가 검토할 계획이다.
- 다년간의 연구실적을 통해 이 연구에서 개발한 윤활층 활성화제 주입 기술이 콘크리트 펌핑성능을 향상시키는데 매우 효과적임을 확인하였으며, 기존 연구 목표인 압력 감소 20%를 크게 상회하는 연구 성과(최소 26.6%에서 최대 60.2%)를 달성하였다.

2.1.1. 윤활층 활성화제 개발 - 1차년도(주관)

- 윤활층 활성화제는 콘크리트 펌핑 중 주입되어 윤활층의 점도를 크게 감소시키면서 콘크리트의 압축강도에는 영향을 주지 않아야 한다.
- 표 2.1에 나타낸 것과 같이 총 14 종류의 화학재료 구성하여 시멘트 페이스트에 혼입하였으며, 페이스트의 점도 및 압축강도를 측정하였다.
- 실험에 사용한 시멘트 페이스트의 물-시멘트 비는 40%이며, 화학재료의 혼입량은 페이스트 무게의 1%이다.
- 압축강도 저하와 점도 감소율을 고려하여 두 가지 화학재료(PCE, CTAC)를 선정하였으며, 고형분 사용량에 따른 점도와 압축강도 변화를 면밀하게 검토하였다.
- 물-시멘트 비 40%인 시멘트 페이스트 부피 대비 2.5%에서 12.5%까지 화학재료의 혼입량을 증가시키며 점도와 압축강도 변화를 검토하였다. PCE의 경우 고형분량은 5, 10%로, CTAC의 고형분량은 10, 15%로 각각 다르게 사용하였다.
- 표 2.2에 실험 결과를 나타내었다. PCE의 고형분량이 10%이고 혼입율이 2.5%일 때 압축강도에 큰 영향을 주지 않고 점도가 약 65%까지 크게 감소하는 것을 확인하였다.
- 따라서 고형분량 10%인 PCE 재료를 윤활층 활성화제로 사용할 경우 콘크리트 펌핑성을 크게 향상시킴과 동시에 타설된 콘크리트의 역학적 성능을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

<표 2.1> 윤활층 활성화제 개발을 위한 실험 변수 및 결과

구 분	시약 종류		시약 명칭	점도		재령 3일 압축강도	
				측정값 (cP)	감소율 (%)	측정값 (MPa)	발현율 (%)
Plain	W/C= 40% Paste		-	2,310	0.0	48.9	100.0
1	계면 활성제	음이온	Micolin S530 (SLS)	2,250	2.6	41.6	85.0
2			Micolin A526 (ALS)	2,100	9.1	42.1	86.1
3			Sodium dodecyl Sulfate	2,124	8.1	37.7	77.1
4			ALS (Ammonium lauryl sulfate)	1,938	16.1	38.3	78.4
5		고분자 음이온	PCE (AP-50 Series)	1,314	43.1	47.6	97.3
6		양이온	Cetyltrimethylammonium chloride solution (CTAC)	2,166	6.2	47.6	97.2
7			CTAC (Cetrimonium chloride)	1,878	18.7	44.2	90.3
8			BAC (Benzalkonium Chloride)	1,990	13.9	33.6	68.6
9	화합물	Amine	MEA (Monoethanol amine)	2,669	-15.5	48.8	99.8
10			DEA (Diethanol amine)	2,903	-25.7	50.6	103.5
11			TEA (Triethanol amine)	2,669	-15.5	37.9	77.5
12		금속 이온	Calcium nitrate (Ca(NO ₃) ₂)	2,208	4.4	46.5	95.0
13			sodium nitrate (NaNO ₃)	2,256	2.3	47.9	98.0
14			Potassium nitrate(KNO ₃)	2,459	-6.5	47.6	97.3

<표 2.2> PCE 혼입량에 따른 시멘트 페이스트의 압축강도 및 점도 변화

시약 명칭	고형분량 (%)	혼입율 (부피%)	점도		재령 3일 압축강도		재령 7일 압축강도	
			측정값 (cP)	감소율 (%)	측정값 (MPa)	발현율 (%)	측정값 (MPa)	발현율 (%)
Paste	-	-	2310.0		52.1		61.5	
PCE	5	2.5	1380.0	40.3	54.1	103.8	61.4	99.8
		5.0	749.8	67.5	47.0	90.2	56.3	91.5
		7.5	503.9	78.2	48.0	92.1	52.5	85.4
		10.0	311.9	86.5	45.2	86.8	49.2	80.0
		12.5	299.9	87.0	40.0	76.8	50.4	82.0
	10	2.5	803.8	65.2	51.2	98.3	60.5	98.4
		5.0	491.9	78.7	41.9	80.4	56.6	92.0
		7.5	323.9	86.0	40.6	77.9	47.1	76.6
		10.0	198.0	91.4	36.2	69.5	42.3	68.8
		12.5	359.9	84.4	30.7	58.9	42.9	69.8
CTAC	10	2.5	1806.0	21.8	49.9	95.8	58.6	95.3
		5.0	1302.0	43.6	45.6	87.5	56.3	91.5
		7.5	1416.0	38.7	42.1	80.8	49.4	80.3
		10.0	1050.0	54.5	38.9	74.7	47.3	76.9
		12.5	761.8	67.0	35.0	67.2	41.0	66.7
	15	2.5	1284.0	44.4	46.5	89.3	56.0	91.1
		5.0	1446.0	37.4	44.8	86.0	51.7	84.1
		7.5	1212.0	47.5	40.4	77.5	47.2	76.7
		10.0	653.9	71.7	28.5	54.7	37.2	60.5
		12.5	539.9	76.6	26.9	51.6	31.9	51.9

2.1.2. 실내 모르타르 펌핑 실험을 통한 개발 기술 검토 - 1차년도(공동)

- 콘크리트를 사용한 윤활층 활성화제 주입 기술의 검토를 수행하기에 앞서 모르타르를 사용한 실내 규모의 펌핑 실험을 통해 개발된 윤활층 활성화제의 효과와 주입장치의 개발 방안에 대한 검토가 이루어졌다.
- 실험에 사용한 모르타르는 표 2.3에 나타난 것과 같이 물-시멘트 비 47%이며, 시멘트와 잔골재의 무게 비는 1:2로 하였다. 잔골재의 조립물은 2.87이며, 최대 직경 2 mm인 표준사를 사용하였다. 잔골재의 체가름 시험 결과는 그림 2.1과 같다. 모르타르의 슬럼프는 210 mm이다[그림 2.2 참조].

<표 2.3> 모르타르의 배합 비

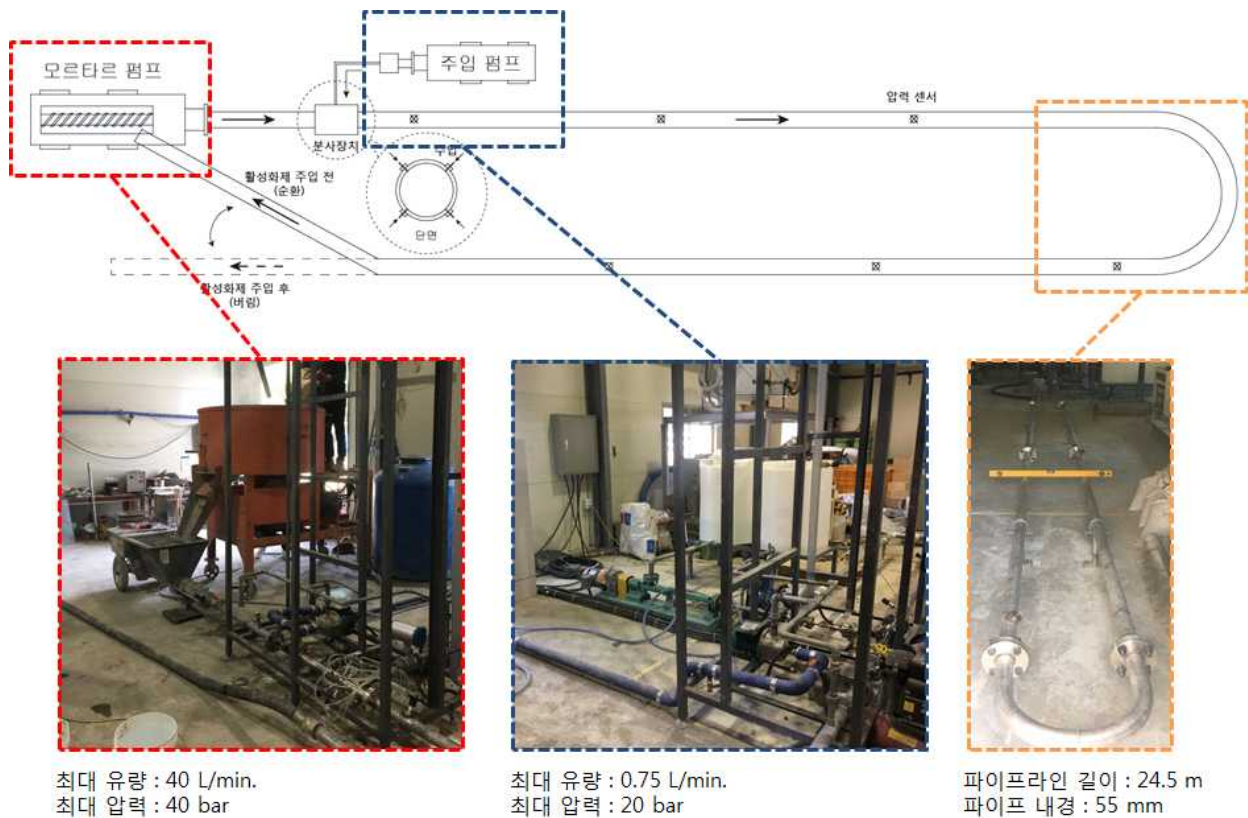
Water	Cement	Sand
0.47	1	2

[그림 2.1] 모르타르 펌핑 실험에 사용한 잔골재의 체가름 시험 결과



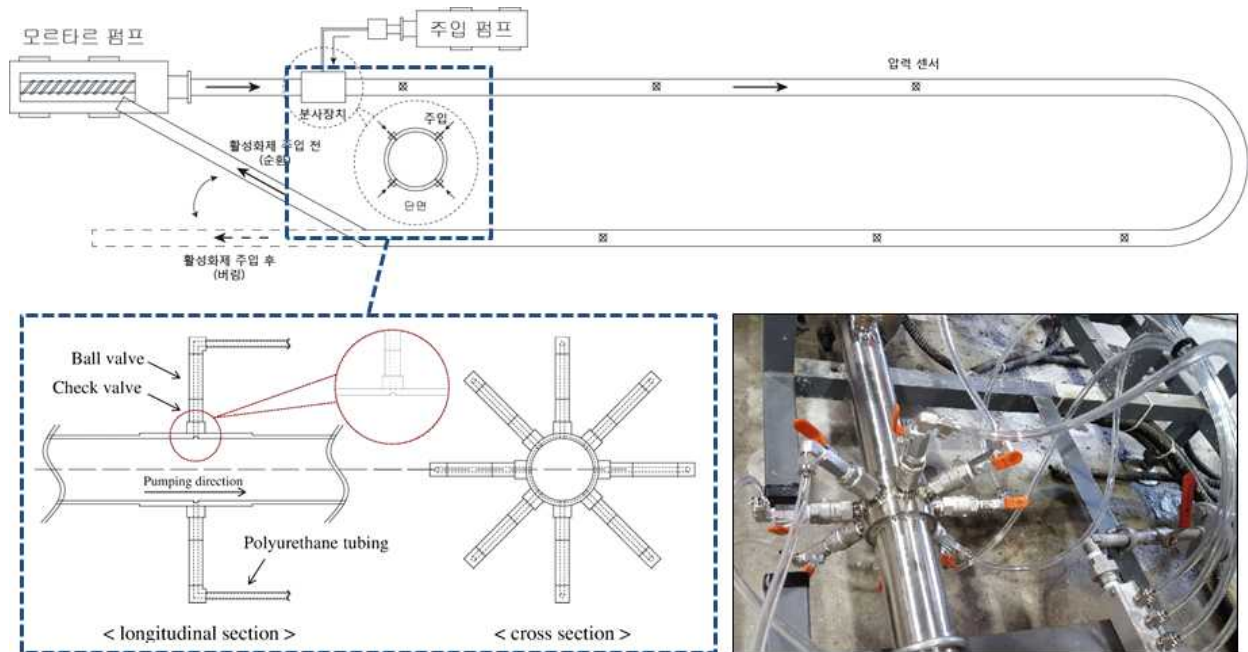
[그림 2.2] 모르타르의 슬럼프 시험 결과(210 mm)

- 그림 2.3에 모르타르 펌핑 실험에 사용한 장비를 나타내었다. 파이프의 내경은 55 mm이며, 스테인레스 재질을 사용하였다. 파이프라인의 총 길이는 24.5 m이다. 모르타르 펌프는 스크류 형식으로, 최대 토출량 40 L/min., 최대 압력은 40 bar이다. 윤활층 활성화제 주입에 사용된 펌프는 최대 유량 0.75 L/min., 최대 압력 20 bar이다. 파이프라인에는 모두 6개의 압력 센서가 설치되었으며, 펌핑 과정에서 발생하는 압력을 모두 측정하였다.
- 윤활층 활성화제를 파이프 둘레 방향으로 고르게 주입하기 위해 그림 2.4와 같이 분사장치를 제작하였다. 파이프 둘레 일정한 간격으로 주입 노즐이 설치되었으며, 각각의 노즐에는 역류를 방지하는 체크밸브와 볼밸브가 설치되었다.



[그림 2.3] 실내 모르타르 펌핑 실험 전경

- 모르타르 펌핑 전 과정에서 압력을 측정하였으며, 펌핑 시작 후 파이프 내부의 압력이 최대에 도달하였을 때 윤활층 활성화제를 주입하였다.
- 개발한 윤활층 활성화제의 효과를 기존 혼화제와 비교하기 위해 표 2.4에 나타난 것과 같이 실험을 계획하였다. 여기서, 주입률은 약액의 주입유량을 모르타르의 토출량으로 나누어 계산한 부피 비이다. 주입률은 0.14%에서 0.42%까지 다르게 하여 주입량 증가에 따른 펌핑성능 향상 효과를 검토하였다.



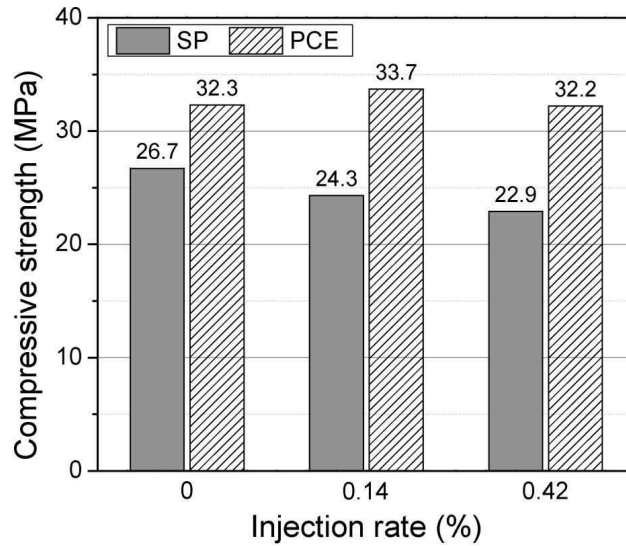
[그림 2.4] 윤활층 활성화제 분사 장치 형상

<표 2.4> 모르타르 펌핑 실험 변수

변수명	모르타르 토출량 (L/min.)	주입 약액의 종류	주입률 (부피 %)
SP-1	28.5	Superplasticizer	0.14
SP-2			0.28
SP-3			0.42
AA*-1		PCE	0.14
AA-2			0.28
AA-3			0.42

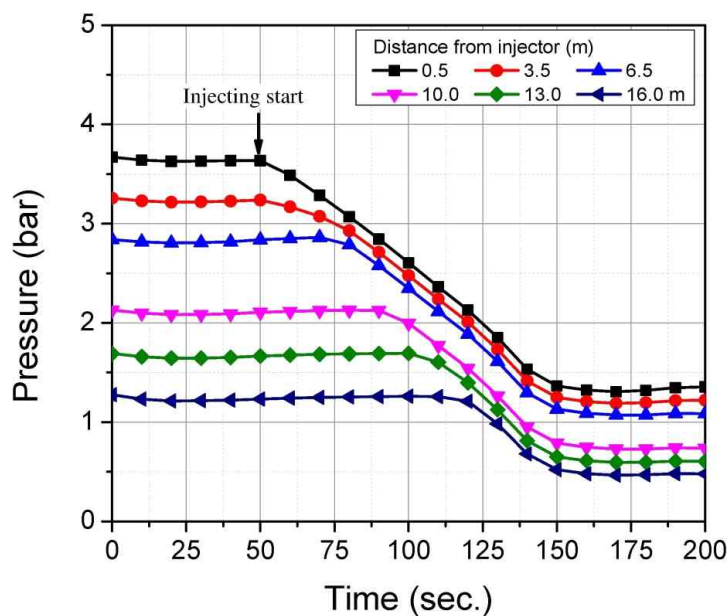
*Activation agent(윤활층 활성화제)

- 그림 2.5는 펌핑 전 모르타르와 약액 주입 후 토출된 모르타르의 재령 7일 평균압축강도를 비교한 그래프이다. 각각의 실험 변수마다 3개의 실험체를 사용한 압축강도 실험이 수행되었다.
- 개발된 윤활층 활성화제를 사용할 경우 주입률을 0.42%까지 증가시키더라도 압축강도에는 변화가 없었으나, 기존 혼화제를 사용할 경우 주입량이 증가함에 따라 압축강도는 감소하였다.



[그림 2.5] 약액 주입에 따른 모르타르의 압축강도 변화

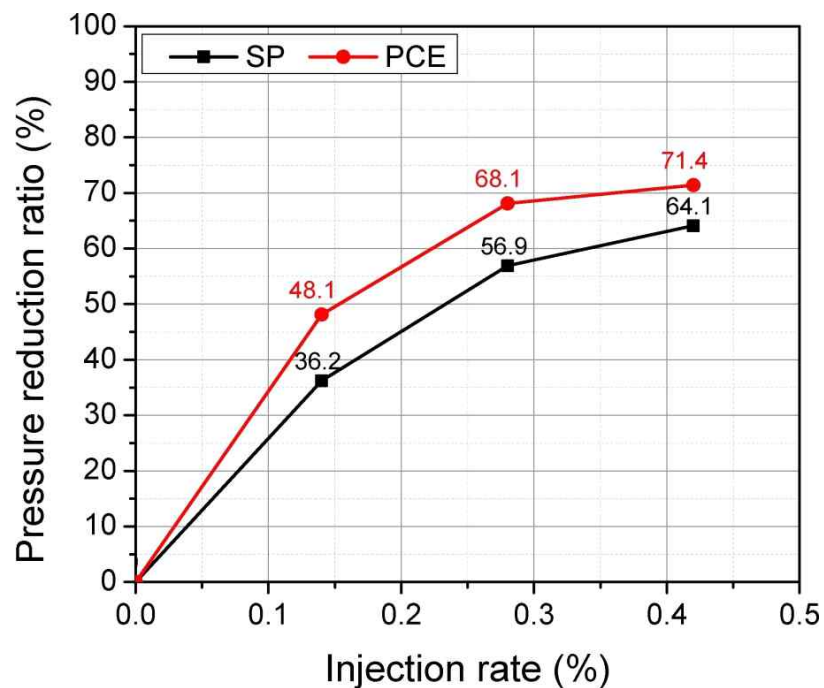
- 그림 2.6은 모르타르 펌핑 중 측정된 시간-압력 그래프이다. 약액 주입과 동시에 주입 위치와 가까운 곳부터 압력이 감소하기 시작하며, 약액에 의해 점도가 감소된 윤활층이 파이프라인 전 구간에 영향을 끼칠 때 모든 위치에서의 압력은 안정화된다.
- 표 2.5는 실험 중 측정된 압력을 나타내었으며, 그림 2.7에 측정 압력을 통해 계산된 압력 감소율과 주입률 사이의 관계를 나타내었다. 주입률이 증가함에 따라 펌핑 압력은 감소하며, 기존 혼화제보다 개발된 윤활층 활성화제를 사용할 경우 더 높은 압력 감소율을 나타내었다. 윤활층 활성화제의 주입률이 0.42%일 때 펌핑 압력은 최대 71.4% 감소하였으며, 최소 주입률 0.14%인 경우에도 48.1%의 압력 감소율을 나타내었다.
- 따라서, 개발된 윤활층 활성화제는 콘크리트의 펌핑성능을 크게 감소시키면서 압축강도에는 영향을 끼치지 않을 것으로 판단된다.



[그림 2.6] 약액 주입에 의한 파이프 내부의 압력 변화

<표 2.5> 펌핑 중 약액 주입 전과 후의 압력

변수명	주입률 (%)	압력 (bar)		압력 감소율 (%)
		주입 전	주입 후	
AA-1	0.14	3.63	2.32	48.1
AA-2	0.28	3.63	1.57	68.1
AA-3	0.42	3.63	1.31	71.4
SP-1	0.14	3.11	1.60	36.2
SP-2	0.28	3.57	1.14	56.9
SP-3	0.42	3.08	0.89	64.1



[그림 2.7] 약액 종류에 따른 주입량-압력 감소율 관계

2.1.3. 윤택층 활성화제 주입 장치 개발 - 1차년도(주관)

- 윤택층 활성화제 주입 기술을 콘크리트 펌핑에 적용하기 위하여 주입장치를 개발하였으며, 그림 2.8과 그림 2.9에 제어부와 주입부의 형상을 각각 나타내었다.
- 주입장치의 제어부는 콘크리트 펌핑 중 파이프 내부의 압력보다 크도록 최대 압력 350 bar로 제작하였으며, 0.5 L/min.에서 10.0 L/min. 범위에서 주입 유량을 조절할 수 있도록 하였다. 제어부에서 주입 위치에서의 실시간 압력과 윤택층 활성화제의 주입 유량을 확인할 수 있으며, 소프트웨어를 통한 자동화 기능을 보유하고 있다.

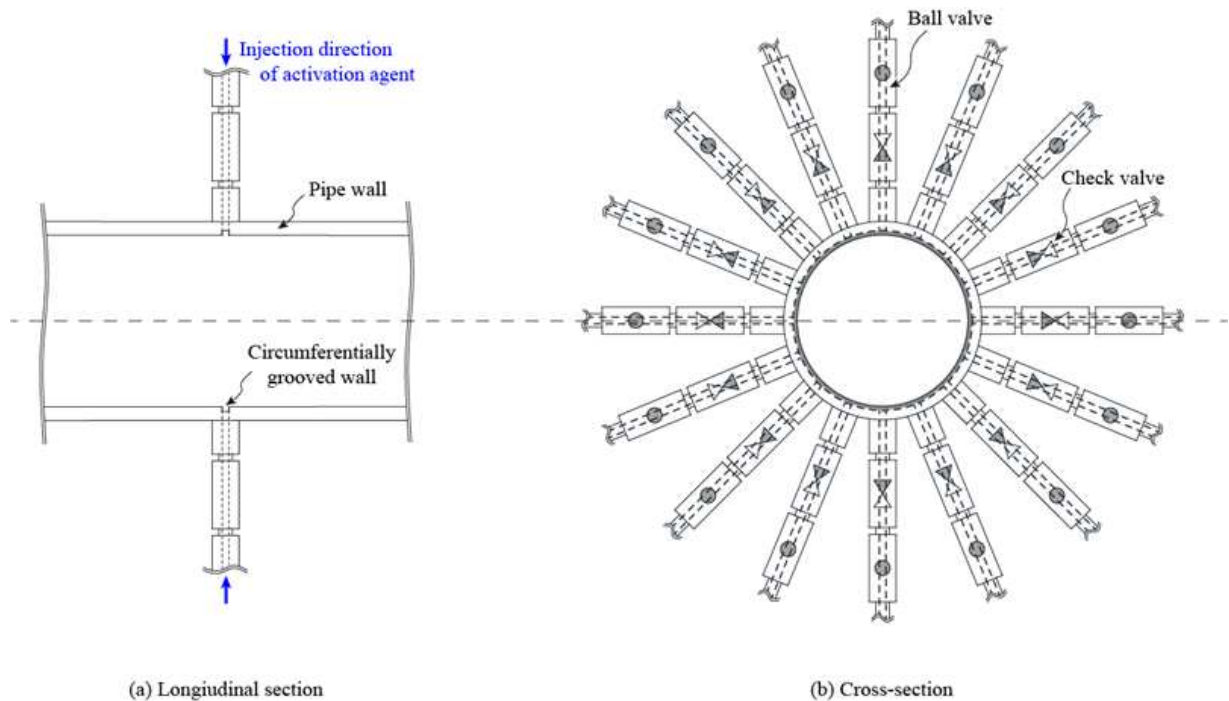


[그림 2.8] 유회층 활성화제 주입장치의 제어부

- 유회층 활성화제 주입장치의 제어부는 파이프 둘레 일정한 간격으로 16개의 노즐을 설치하여 균일한 주입이 가능하도록 하였으며, 체크밸브와 볼밸브를 사용하여 유회층의 역류를 방지하였다.
- 또한 그림 2.10에 나타낸 것과 같이 주입 위치에 얇은 홈을 내어 유회층 전 구간에 주입된 활성화제가 작용하도록 하였다.



[그림 2.9] 유회층 활성화제 주입장치의 주입부 설치 전경



[그림 2.10] 윤활층 활성화제 주입장치의 주입부 개념도

2.1.4. 실규모 콘크리트 펌핑 실험을 통한 기술 적용성 검토 - 1,2차년도(주관,협동)

- 앞서 개발된 윤활층 활성화 시스템의 콘크리트 펌핑에 대한 효과를 검토하기 위해 실규모 펌핑 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 파이프라인의 길이는 112, 137, 514 m로 모두 세 가지이다.
- 137, 514 m 파이프라인을 사용한 실험은 2017년 10, 11월에 걸쳐 음성 생극면의 삼한 주유소 부지에서 진행되었으며, 112 m 파이프라인을 사용한 실험은 2018년 3월에서 5월 까지 명지대학교 토목환경공학과 앞마당 부지에서 진행되었다.
- 표 2.6에 실험에 사용한 콘크리트 배합을 나타내었다. 콘크리트는 모두 세 가지 배합을 사용하였다.

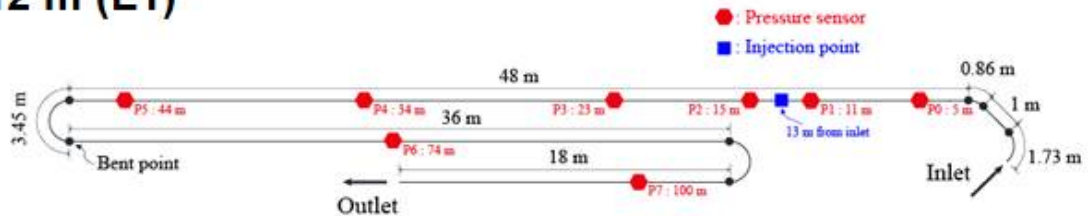
<표 2.6> 펌핑 실험에 사용된 콘크리트 배합

Mix	Strength (MPa)	Unit weight (kg/m ³)						
		Water	Cement	BS	FA	S	G	WRA
M1	24	170	214	66	49	893	905	2.14
M2	35	160	277	85	64	827	906	2.98
M3	60	170	473	159	0	693	861	7.58

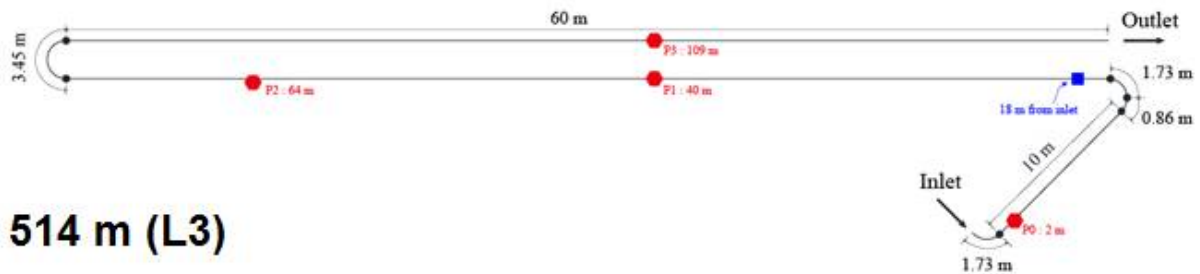
- 실험에 사용한 파이프라인의 개략도와 실험 전경을 그림 2.11과 2.12에 각각 나타내었다. 윤활층 활성화제의 주입 위치는 펌프 앞 단에 위치하며, L1, L2, L3 파이프라인에 각각 8개, 4개, 8개의 압력센서를 설치하여 파이프 내부의 압력 변화를 계측하였다.

- 콘크리트의 토출량은 그림 2.13에 나타난 사각형 박스를 사용하여 토출된 콘크리트의 양과 시간을 측정하여 계산하였다.
- 실험 변수는 표 2.7과 같이 윤활층 활성화제의 주입률을 0.077%에서 0.284%까지 달리하였다. 주입률은 윤활층의 유량을 콘크리트의 토출량으로 나누어 계산하였다.

- 112 m (L1)



- 137 m (L2)



- 514 m (L3)



[그림 2.11] 콘크리트 펌핑 실험에 사용한 파이프라인의 개략도



[그림 2.12] 콘크리트 펌핑 실험 전경

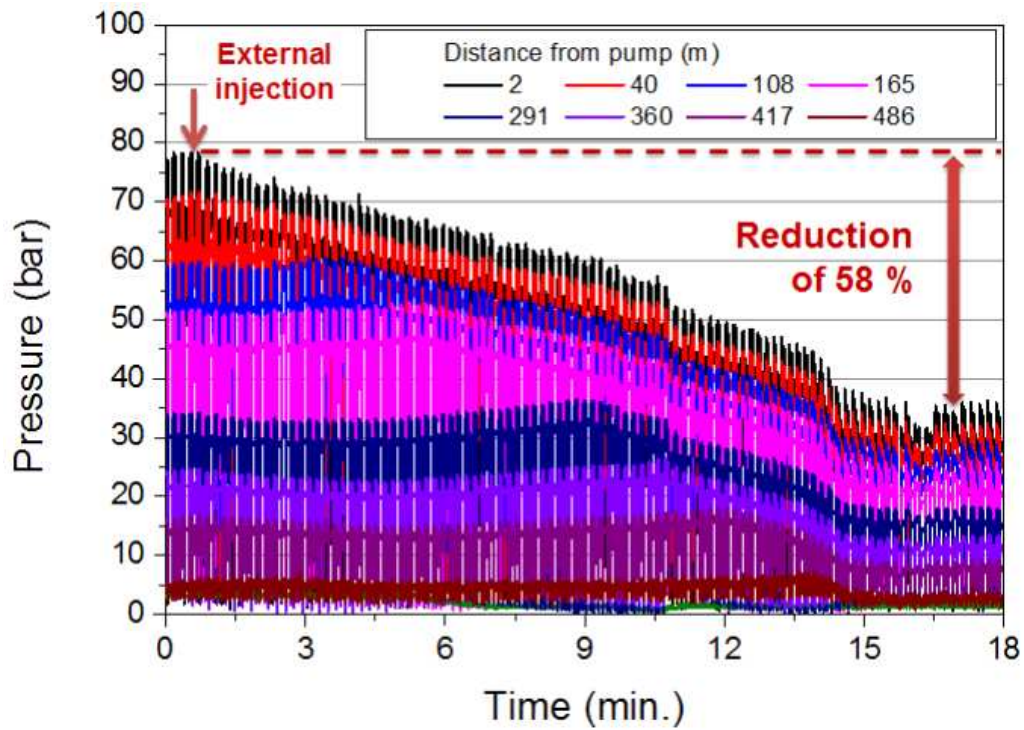


[그림 2.12] 사각 박스를 이용한 콘크리트의 토출량 측정

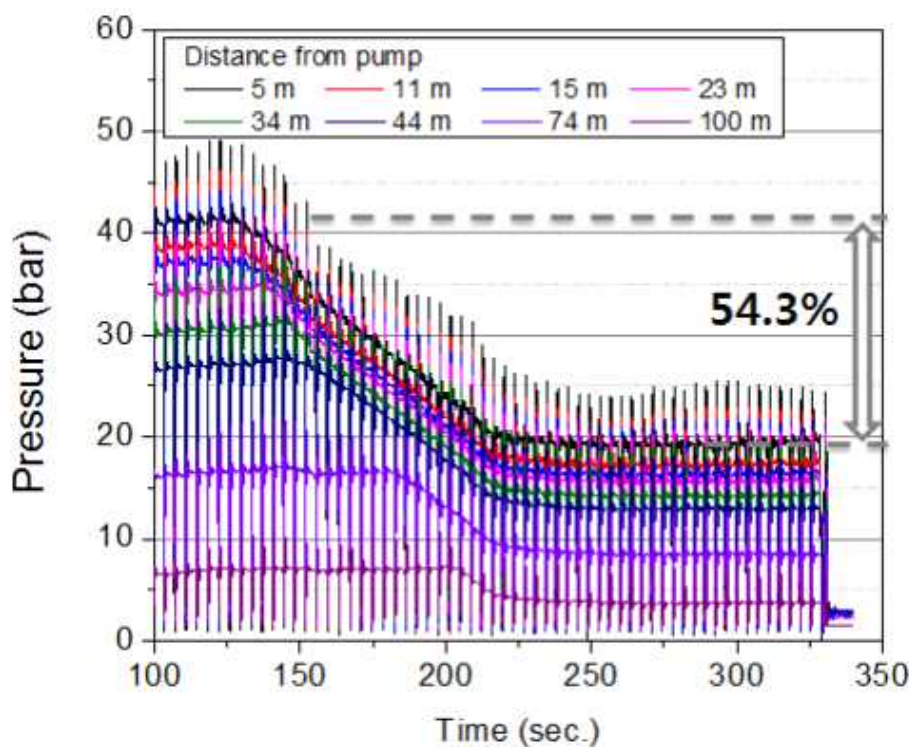
<표 2.7> 콘크리트 펌핑 실험 변수

Pipeline	Mix.	No.	주입량 (L/min)	콘크리트 토출량 (m ³ /h)	주입률 (Volume %)	변수 명
L1 (112 m)	M1	1	1.00	68.5	0.088	L1-M1-0.088
		2	1.00	50.2	0.120	L1-M1-0.120
		3	1.00	44.0	0.136	L1-M1-0.136
	M2	1	1.00	77.6	0.077	L1-M2-0.077
		2	1.00	53.5	0.112	L1-M2-0.112
		3	1.00	47.5	0.126	L1-M2-0.126
	M3	1	1.00	46.5	0.129	L1-M3-0.129
		2	1.00	40.9	0.147	L1-M3-0.147
		3	1.00	31.2	0.192	L1-M3-0.192
L2 (137 m)	M1	1	1.00	48.0	0.125	L2-M1-0.125
		2	1.50	48.0	0.188	L2-M1-0.188
		3	2.00	48.0	0.250	L2-M1-0.250
	M3	1	1.00	48.9	0.123	L2-M3-0.123
		2	1.50	44.9	0.200	L2-M3-0.200
		3	2.00	42.2	0.284	L2-M3-0.284
L3 (514 m)	M1	1	0.75	23.3	0.190	L3-M1-0.190

- 그림 2.13에 실험변수 L3-M1-0.190, L1-M2-0.112, L1-M3-0.192의 실험 중 측정된 파이프 내부의 실시간 압력 변화를 각각 나타내었다.
- 그림 2.13(가)는 514 m 파이프라인과 24 MPa급 콘크리트를 사용한 실험 결과이다. 윤활층 활성화제 주입과 동시에 주입 위치와 가까운 곳에서부터 압력이 감소하기 시작하며, 파이프라인 전 구간이 외부 주입의 영향을 받을 때 모든 위치에서의 압력이 안정화된다. 펌프에서 가장 가까운 위치(P0)에서 측정된 압력은 약 58% 감소하였다.
- 그림 2.13(나)와 (다)는 각각 112 m 파이프라인과 각각 35, 60 MPa급 콘크리트를 사용한 실험 결과이다. 콘크리트의 배합이 다르더라도 윤활층 활성화제 주입에 의한 압력 감소효과는 크게 발생한다.
- 윤활층 활성화제 주입에 의한 압력 감소 경향을 단순화하여 그림 2.14와 같이 나타낼 수 있다. 콘크리트 펌핑 중 외부 주입이 이루어지면 윤활층의 점도는 감소하며, 점도가 감소된 윤활층은 콘크리트와 함께 이동한다. 이에 따라 파이프 내부의 압력은 주입 위치에서 가까운 곳에서부터 감소하기 시작하고 압력 측정 위치가 멀수록 압력이 감소하기 시작하는 시간(delayed time)은 늦어진다. 이 변화 구간(transition zone)은 콘크리트의 토출량과 파이프라인의 길이에 따라 달라진다. 점도가 감소된 윤활층이 파이프라인 전 구간에 영향을 끼칠 때 모든 위치에서의 압력은 안정화된다.
- 표 2.8에 실험 변수마다의 윤활층 활성화제 주입 전과 후 펌프와 가장 가까운 위치에서 측정된 압력 변화를 나타내었다. 외부 주입에 의한 압력 감소율은 최소 26.6%에서 최대 60.2%로 계산되었다. 이 연구 목표인 압력 감소 20%를 크게 상회하는 수치이다.
- 그림 2.14에 콘크리트 배합마다의 주입률-압력감소율 관계를 나타내었다. 주입률이 증가함에 따라 펌핑 압력은 더 크게 감소된다. 또한 콘크리트 배합마다 주입률-압력감소율 경향이 다르게 계산되었다. 콘크리트 배합과 상관없이 주입률-압력감소율 관계를 예측할 수 있는 방법이 필요하다.

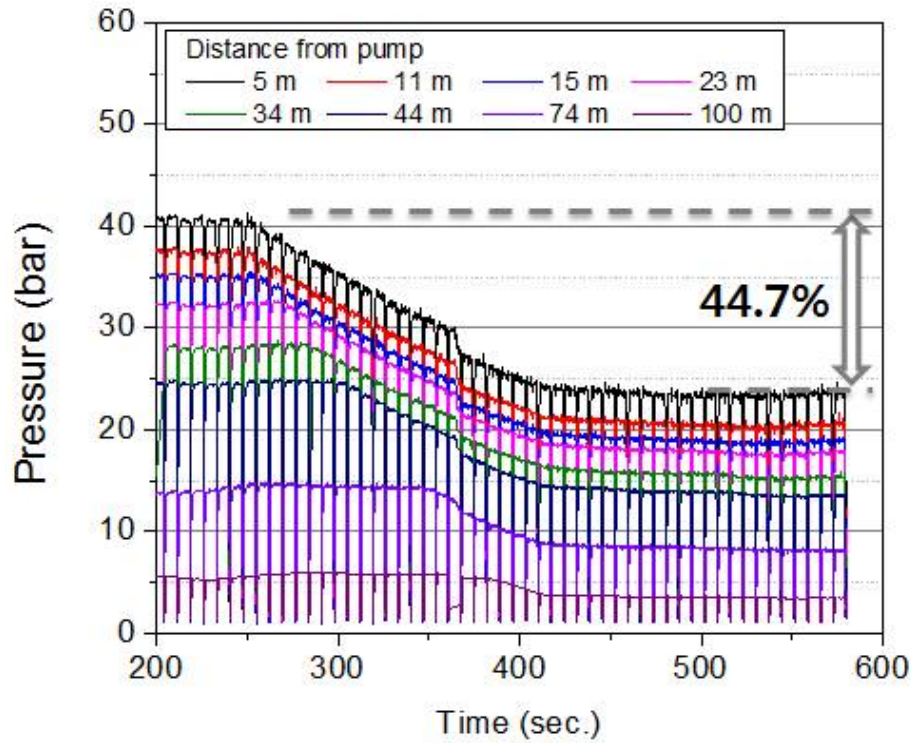


(가) L3-M1-0.190



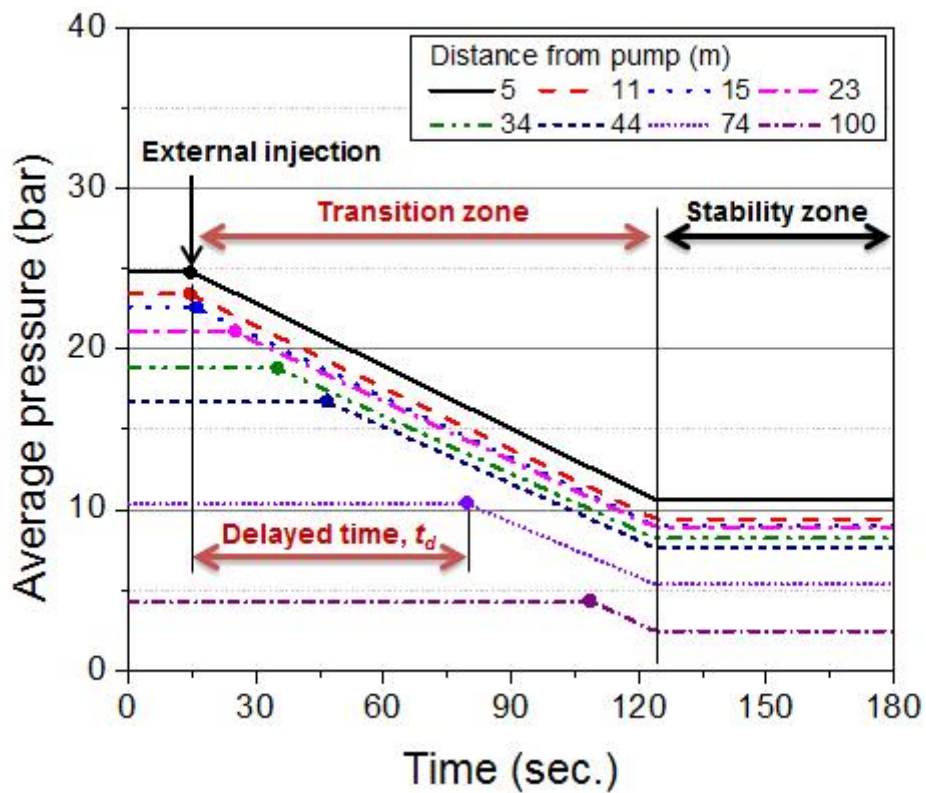
(나) L1-M2-0.112

[그림 2.13] 콘크리트 펌핑 실험 중 측정된 시간에 따른 파이프 내부 압력 변화(계속)



(다) L1-M3-0.192

[그림 2.13] 콘크리트 펌핑 실험 중 측정된 시간에 따른 파이프 내부 압력 변화



[그림 2.14] 윤활층 활성화제 주입에 의한 파이프 내부 압력 감소의 개념도

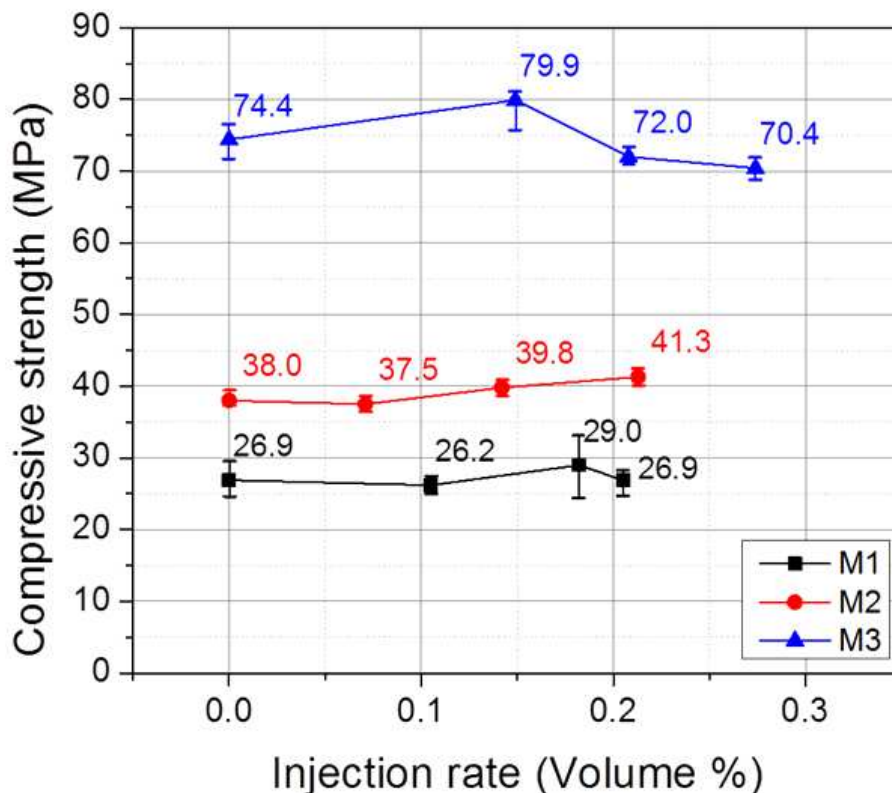
<표 2.8> 윤활층 활성화제 주입 전/후 콘크리트 펌핑 압력 변화

변수명	P0에서의 평균 압력 (bar)		압력 감소율 (%)
	주입 전	주입 후	
L1-M1-0.088	29.6	18.6	37.1
L1-M1-0.120	28.3	14.6	48.4
L1-M1-0.136	16.0	7.3	54.3
L2-M1-0.125	21.4	9.9	53.7
L2-M1-0.188	24.0	10.3	57.1
L2-M1-0.250	23.4	9.4	59.8
L3-M1-0.190	62.8	26.3	58.1
L1-M2-0.077	31.6	15.0	52.6
L1-M2-0.112	33.0	15.1	54.3
L1-M2-0.126	22.6	9.0	60.2
L1-M3-0.129	42.4	30.2	28.8
L1-M3-0.147	39.5	25.2	36.2
L1-M3-0.192	31.8	17.6	44.7
L2-M3-0.123	75.2	55.2	26.6
L2-M3-0.200	71.3	40.7	42.9
L2-M3-0.284	100.3	52.3	47.9

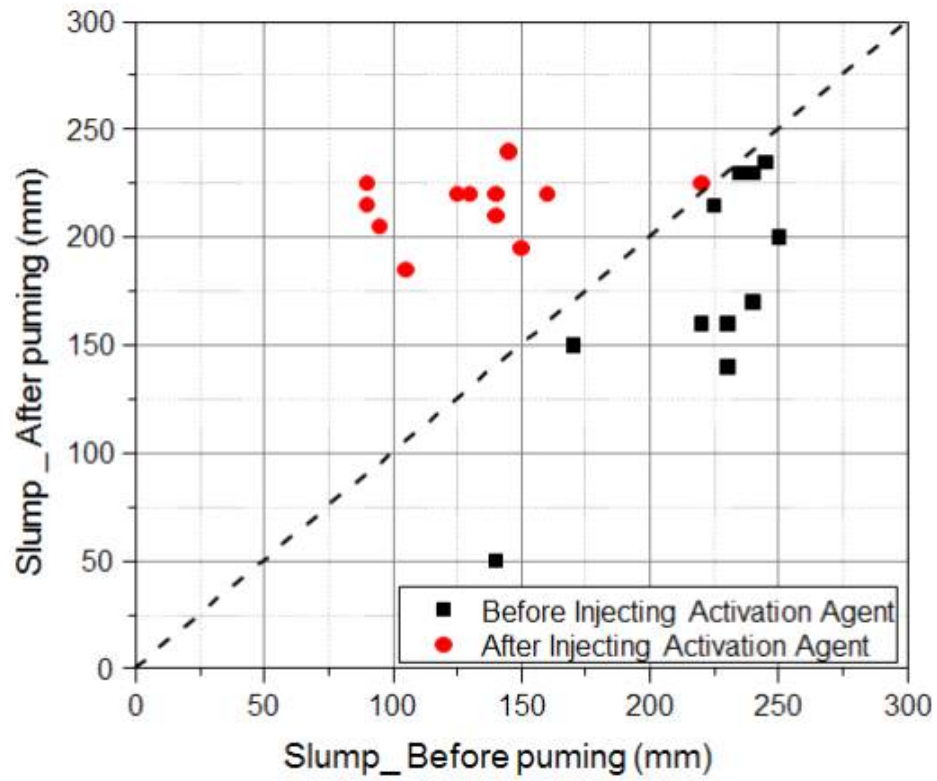
[그림 2.15] 콘크리트 배합 별 윤활층 활성화제 주입에 의한 압력감소율 경향

2.1.5. 윤활층 활성화제 주입 전과 후의 물성 변화 검토 - 1,2차년도(주관, 협동)

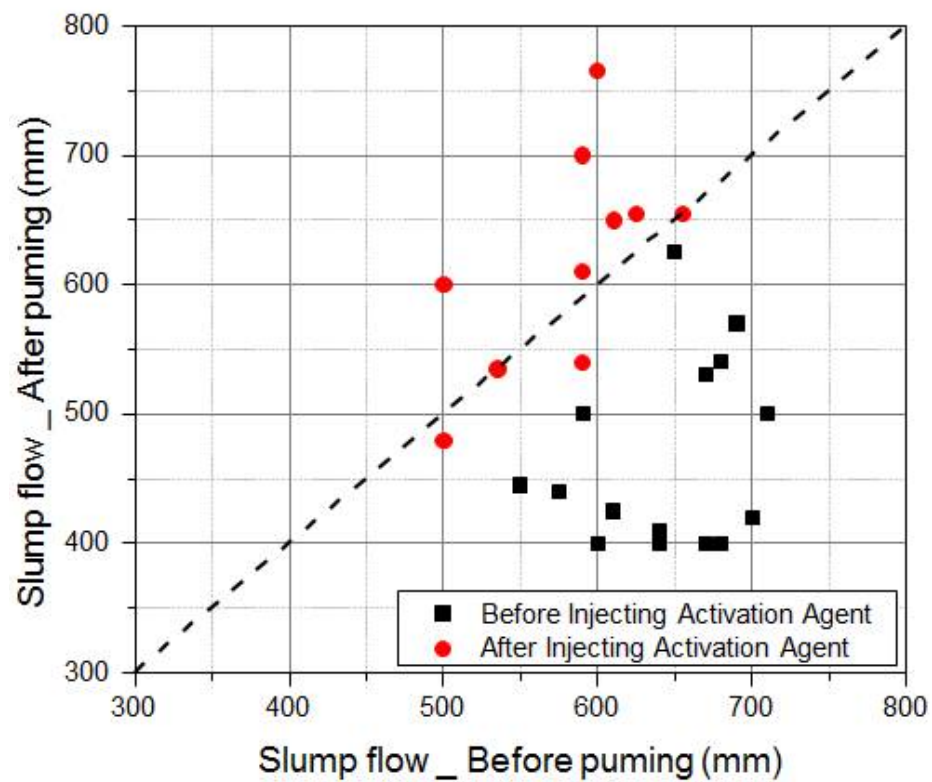
- 그림 2.16은 윤활층 활성화제 주입률에 따른 콘크리트의 압축강도 변화를 나타낸 그래프이다. 각각의 실험은 3개의 공시체를 사용하여 수행되었으며, 재령 28일의 평균압축강도를 계산하였다.
- 주입률이 증가함에 따른 압축강도 변화는 거의 없는 것으로 확인된다. M3 배합의 경우 0.2% 이상의 주입률에서 압축강도가 소폭 감소한다. 그러나 윤활층 활성화제를 0.2% 이내로 사용하더라도 40% 이상의 압력감소율을 확보할 수 있다.
- 실험 과정에서 펌핑 전, 주입 전 펌핑 후, 주입 후 펌핑 후 콘크리트의 슬럼프 및 슬럼프 플로우, 공기량을 측정하였다.
- 그림 2.17과 2.18은 각각 슬럼프(M1, M2)와 슬럼프 플로우(M3) 측정 결과를 비교하여 나타낸 그림이다. 윤활층 활성화제를 주입하지 않은 펌핑 후 콘크리트의 작업성은 크게 저하되었으나, 윤활층 활성화제 주입 시 목표 작업성을 확보하는 것으로 확인되었다.
- 그림 2.19에 윤활층 활성화제 주입 전과 후 콘크리트의 공기량 변화를 비교하여 나타내었다. 윤활층 활성화제 주입 전 펌핑 후 콘크리트는 펌핑 전 콘크리트와 비교하여 공기량이 크게 변화하였으나, 윤활층 활성화제 주입에 의해 공기량의 변동폭이 크게 감소되는 것을 확인하였다.
- 이 연구에서 개발된 윤활층 활성화제 주입 기술은 콘크리트의 목표 역학적능과 작업성을 확보하면서 콘크리트 펌핑성능을 크게 향상시킬 수 있음을 검증하였으며 추후 윤활층 활성화제 혼입 콘크리트에 대한 크립특성 등 장기내구성에 대한 연구를 수행할 예정이다.



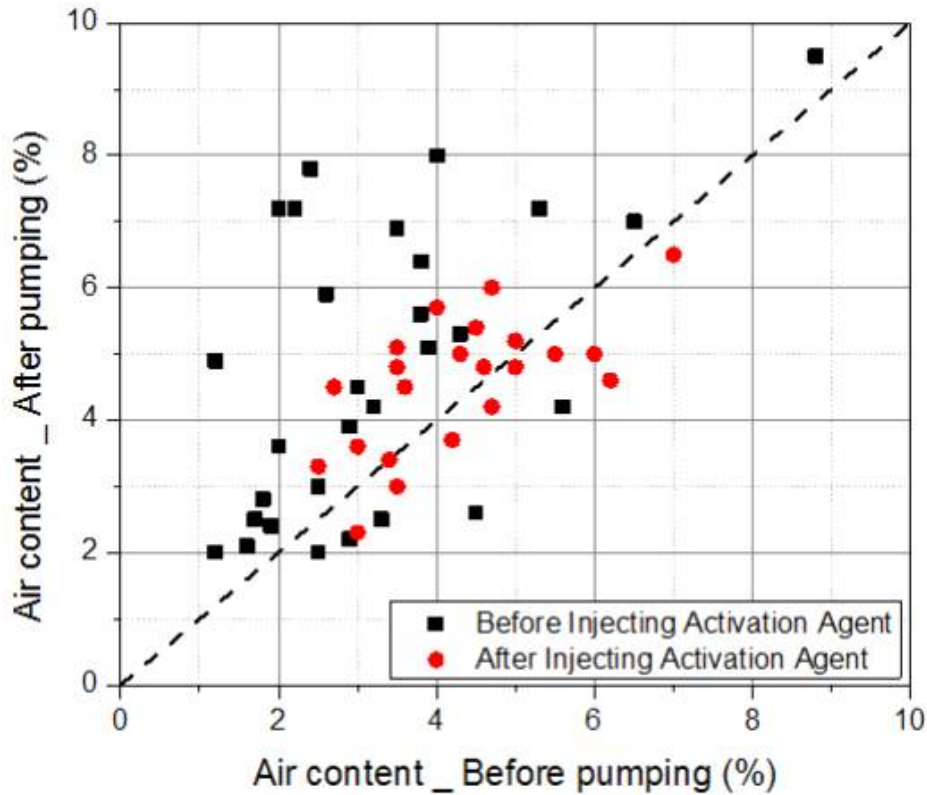
[그림 2.16] 윤활층 활성화제 주입에 의한 콘크리트의 압축강도 변화



[그림 2.17] 윤활층 활성화제 주입 전/후 슬럼프 변화



[그림 2.18] 윤활층 활성화제 주입 전/후 슬럼프 플로우 변화



[그림 2.19] 윤활층 활성화제 주입 전/후 공기량 변화

2.1.6. 윤활층 활성화제 주입 기술의 현장 적용 - 2,3차년도(주관,협동)

2.1.6.1. 국내현장

- 이 연구에서는 압력감소 효과가 검증된 윤활층 활성화제 주입 기술을 실제 국내 현장에 적용하였다.
- 기술이 적용된 위치는 여의도의 초고층 빌딩 건설 현장이다. 현장 적용 기간은 2018년 8월부터 2019년 6월까지이며, 구조물의 기둥 및 슬래브에 타설되는 콘크리트의 펌핑 시공 과정에 개발된 기술을 적용하였다.
- 그림 2.17에서 2.19는 건설 현장에 개발 기술을 적용한 전경을 나타낸 사진이다. 윤활층 활성화제 주입은 구조물 2층 수직파이프이 시작하는 위치에서 이루어졌다.
- 시공에 사용된 콘크리트는 펌핑 전 슬럼프 180 mm이나, 펌핑 후 100 mm 이하로 저하되어 목표 작업성을 확보하지 못하는 경우가 많았으며, 윤활층 활성화제 주입에 의해 목표 작업성을 확보할 수 있었다[그림 2.20 참조].
- 윤활층 활성화제의 주입은 토출된 콘크리트의 작업성 확보를 위해 펌핑 과정 전반에 걸쳐 이루어졌으며 일부 펌핑 구간에서 압력 감소 효과를 검토하였다.
- 그림 2.21은 57층 슬래브 시공 과정에서 측정된 실시간 압력변화 그래프이다. 파이프 내

부의 압력이 안정화된 후 활성화제의 주입이 이루어졌다. 윤회층 활성화제 주입과 동시에 파이프 내부 압력은 감소하였으며, 약 200 초 이후 안정화 되었다.

- 압력 변화를 정량적으로 평가하기 위해 그림 2.22와 같이 압력을 평균하여 나타내었다. 윤회층 활성화제에 의한 압력 감소를 평가하기 위해 콘크리트 자중에 의한 압력을 무시하여 압력 감소율을 계산하였으며, 압력 감소율은 28.8%로 계산되었다.
- 실제로 시공 현장에서는 압력 감소뿐만 아니라 토출된 콘크리트의 작업성을 확보할 수 있는 것에 매우 만족하였으며, 펌핑 시공 대부분 기간에 이 연구에서 개발된 기술이 적용되었다.



[그림 2.17] 윤회층 활성화제 주입 기술의 현장적용 1



[그림 2.18] 윤활층 활성화제 주입 기술의 현장적용 2



[그림 2.18] 윤활층 활성화제 주입 기술의 현장적용 3



[그림 2.19] 윤활층 활성화제 주입에 의한 토출 콘크리트의 작업성 확보

[그림 2.20] 초고층 구조물 시공 현장 57층 슬래프 타설 중 측정된 실시간 압력

[그림 2.21] 평균화된 실시간 압력 및 압력 감소율 평가 시 콘크리트 자중에 의한 압력 제거

2.1.6.2. 국외현장

- 이 연구에서는 윤활층 활성화제 외부 주입 기술을 국외 현장에 적용하였으며, 약액 주입에 따른 콘크리트의 작업성과 압축강도 변화를 검토하고자 하였다.
- 기술이 적용된 위치는 말레이시아 쿠알라룸푸르의 초고층 빌딩(옥슬리 타워) 건설 현장이며 현장 전경을 그림 2.22에 나타내었다.
- 40 MPa급 콘크리트와 60 MPa급 콘크리트를 사용하였으며, 콘크리트 배합을 표 2.9에 나타내었다.

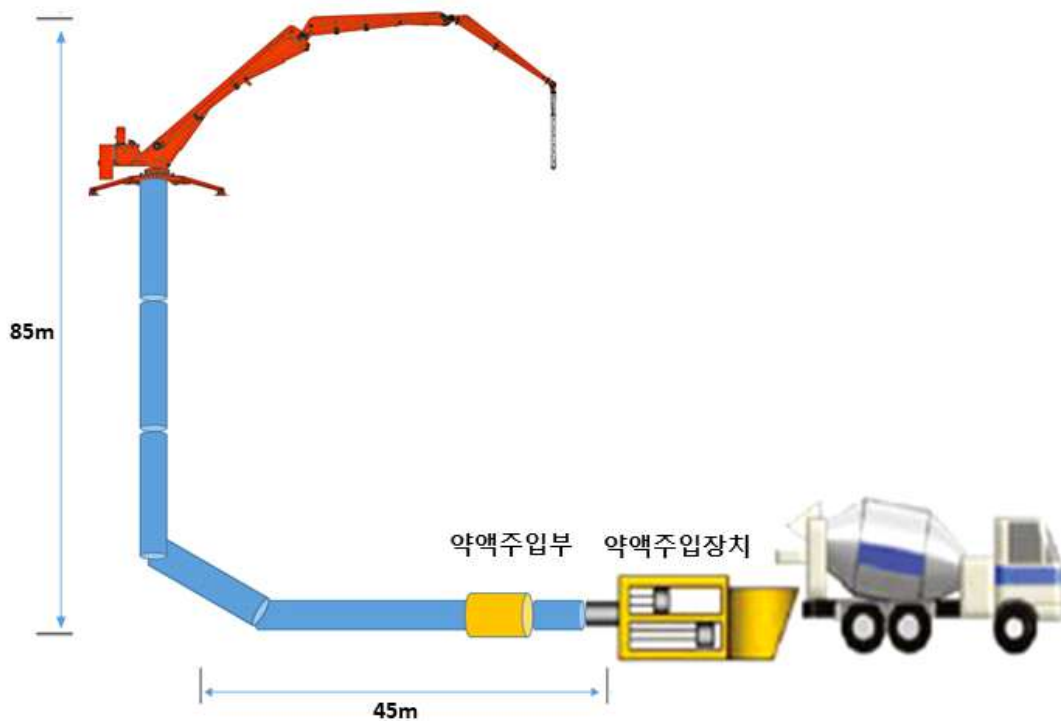


[그림 2.22] 실험 현장 전경

<표 2.9> 실험에 사용된 콘크리트 배합

구 분	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)					
			W	OPC	Slag, etc.	S	G	AD total (C×%)
40 MPa	48.6	47.0	170	350	–	857	967	1.0
60 MPa	34.4	50	165	240	240	856	857	1.3

- 윤활층 활성화제 주입을 위한 약액주입장치와 콘크리트 펌프, 파이프라인의 개략도를 그림 2.23에 나타내었다. 윤활층 활성화제의 주입 위치는 콘크리트 펌프로부터 약 7 m이며, 파이프라인의 길이는 약 130 m 이다. 그림 2.24는 윤활층 활성화제 주입장치의 설치 형상이다.



[그림 2.23] 약액주입장치 설치 개략도



[그림 2.24] 약액주입장치 설치

- 펌핑 전, 펌핑 후(주입 전), 펌핑 후(주입 후) 콘크리트에 대하여 작업성(슬럼프 또는 슬럼프 플로우) 및 압축강도를 평가하였다. 펌핑 전 콘크리트는 그림 2.25와 같이 레미콘에서 직접 채취 하였으며, 펌핑 후 콘크리트는 배관 끝에서 토출된 콘크리트를 그림 2.26에 나타난 호퍼를 사용하여 채취하였다.



[그림 2.25] 펌핑 전 콘크리트 채취



[그림 2.26] 펌핑 후 콘크리트 채취

- 40 MPa급 콘크리트와 60 MPa급 콘크리트의 작업성 측정 시간과 결과를 각각 표 2.10과 표 2.11에 나타내었다.
- 세 가지 실험 변수에 대한 슬럼프 및 슬럼프 플로우는 큰 차이가 없었으나, 주입을 하지 않은 경우와 주입을 한 경우 사이의 시간 차이를 고려하였을 때 작업성이 향상된다는 것을 알 수 있다.

<표 2.10> 40 MPa급 콘크리트의 약액 주입에 따른 슬럼프 플로우 측정 결과

변수	레미콘 도착 후 경과 시간 (min.)	슬럼프 (mm)
펌핑 전	21	115
펌핑 후 (주입 전)	60	115
펌핑 후 (주입 후)	140	110

<표 2.11> 60 MPa급 콘크리트의 약액 주입에 따른 슬럼프 플로우 측정 결과

변수	레미콘 도착 후 경과 시간 (min.)	슬럼프 플로우 (mm)
펌핑 전	31	617.5
펌핑 후 (주입 전)	67	555.0
펌핑 후 (주입 후)	89	590.0

- 표 2.12와 표 2.13에 각각 40 MPa급 콘크리트와 60 MPa급 콘크리트의 실험 변수 별 압축강도 측정 결과를 나타내었다. 콘크리트 배합과 상관없이 윤활층 활성화제를 주입하였을 때 주입을 하지 않은 경우보다 압축강도가 다소 증가하는 것을 확인하였으나, 큰 차이는 없는 것으로 확인되었다.

<표 2.12> 40 MPa급 콘크리트 압축강도 실험 결과

재령 (일)	압축강도 (MPa)		
	펌핑 전	펌핑 후 (주입 전)	펌핑 후 (주입 후)
3	35.45	32.85	34.30
7	39.30	36.10	38.10
28	49.40	47.25	46.65

<표 2.13> 60 MPa급 콘크리트 압축강도 실험 결과

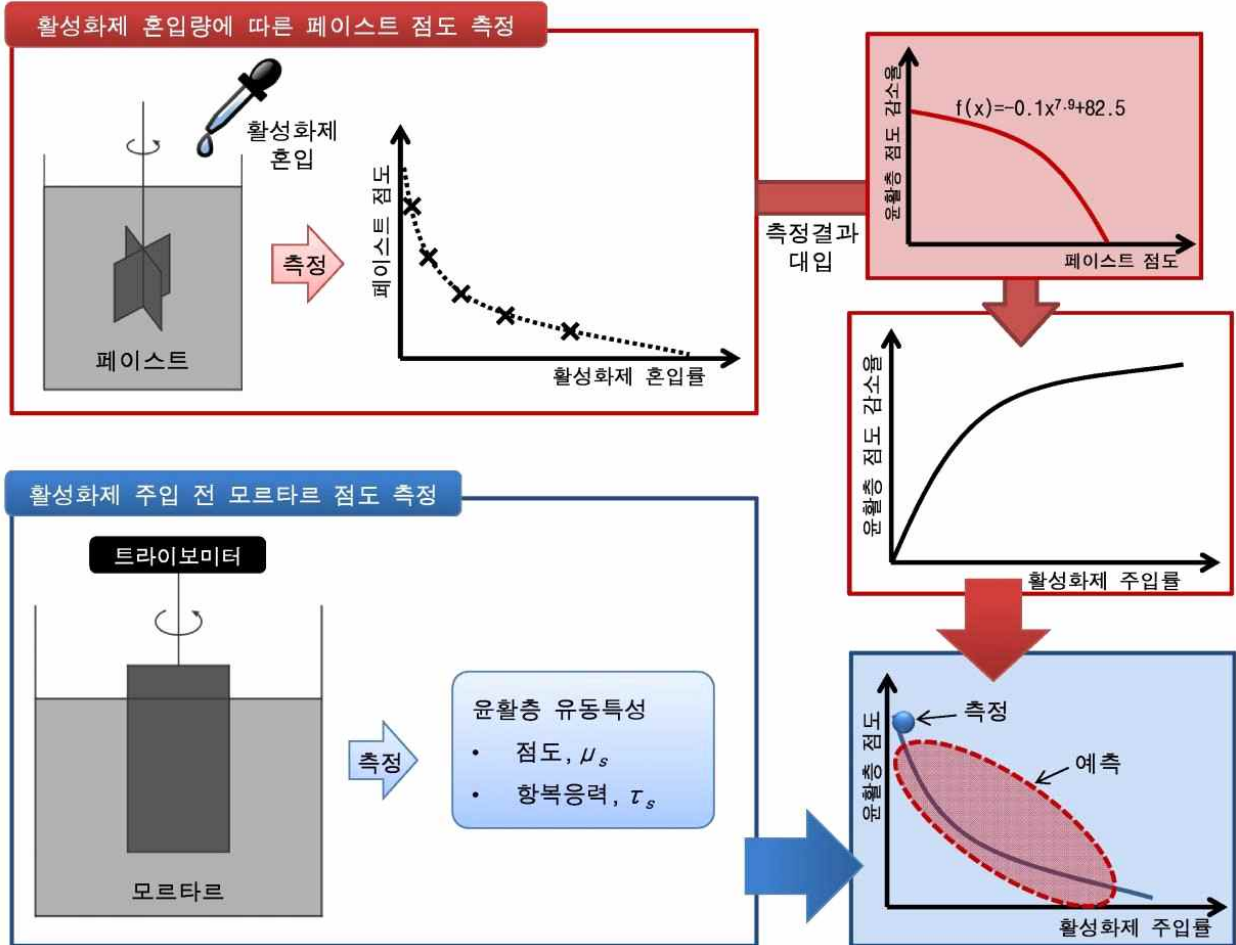
재령 (일)	압축강도 (MPa)		
	펌핑 전	펌핑 후 (주입 전)	펌핑 후 (주입 후)
3	60.11	56.25	57.90
7	63.04	62.55	66.45
28	82.82	80.10	83.50

2.1.7. 윤활층 활성화제 주입에 의한 펌핑성능 향상 예측 - 1,2,3차년도(협동)

- 윤활층 활성화제 주입 기술을 통해 모르타르와 콘크리트의 펌핑성능을 크게 향상시킴을 확인하였다. 그러나 모르타르 또는 콘크리트의 배합에 따라 주입률-압력감소율 관계가 다르게 측정되었다. 실제 현장에 개발된 기술을 적용하기 위해서는 윤활층 활성화제 주입에 따른 압력 감소율을 사전에 평가할 수 있는 기술이 필요하다.
- 이 연구에서는 윤활층 활성화제 주입 기술 적용 시 모르타르와 콘크리트의 펌핑성능을 예측할 수 있는 방법을 제안하였다.

2.1.7.1. 모르타르의 펌핑성능 향상 예측 방법

- 모르타르 펌핑 중 활성화제 주입에 의해 윤활층의 점도가 감소한다. 그러나 파이프 내부의 윤활층의 점도를 측정하는 것은 실질적으로 불가능하다. 따라서 윤활층의 구성 물질인 시멘트 페이스트를 사용하여 간접적인 점도 감소를 측정하는 방법을 구상하였다.
- 연구 과정에서 모르타르 윤활층의 두께와 점도에 따른 펌핑 압력 변화에 대한 parametric study를 수행하였으며 그림 2.27과 같이 활성화제 주입에 따른 윤활층의 점도 감소율 계산 방법을 제시하였다.
- 실험 방법은 1) 활성화제 혼입량에 따른 시멘트 페이스트의 점도를 측정한다; 2) parametric study를 통해 제시된 활성화제 주입 및 혼입에 따른 윤활층과 페이스트의 점도 관계를 통해 윤활층 점도 감소율과 활성화제 주입률 관계를 구한다; 3) 트라이보미터를 이용하여 모르타르 윤활층의 유동특성을 측정한다; 4) 3)에서 측정된 윤활층의 점도와 2)에서 계산된 윤활층 점도-활성화제 주입률 관계를 통해 윤활층 점도-활성화제 주입률 관계를 도출한다.
- 모르타르 펌핑 시 윤활층 점도에 따른 펌핑 압력을 계산하는 방법은 그림 2.28에 나타내었다. 이 계산식은 기존 펌핑 예측식[11]에서 착안하였다. 앞서 제시한 윤활층 점도-활성화제 주입률 관계를 통해 윤활층의 점도를 계산하여 계산식에 적용하면 감소된 펌핑 압력을 계산할 수 있다.
- 예측 방법을 검토하기 위해 그림 2.29와 같이 페이스트를 사용한 실험을 수행하였으며, 앞서 제시된 방법을 따라 펌핑 압력을 계산하였다. 예측 압력과 계산 압력은 최대 6.1%의 오차율을 보였으며, 높은 정확도로 예측이 가능한 것을 확인하였다.



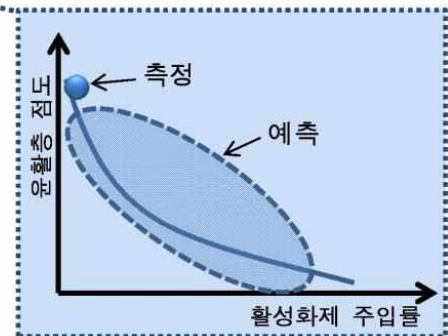
[그림 2.27] 활성화제 주입에 의한 윤활층의 점도 변화 예측 방법

$$P_{max} = \frac{\mu_s \cdot Q + 1200 \cdot \tau_s (R_P^3 - R_L^3)}{4.5 \times 10^7 \cdot \pi \cdot (R_P^4 - R_L^4)} \cdot L$$

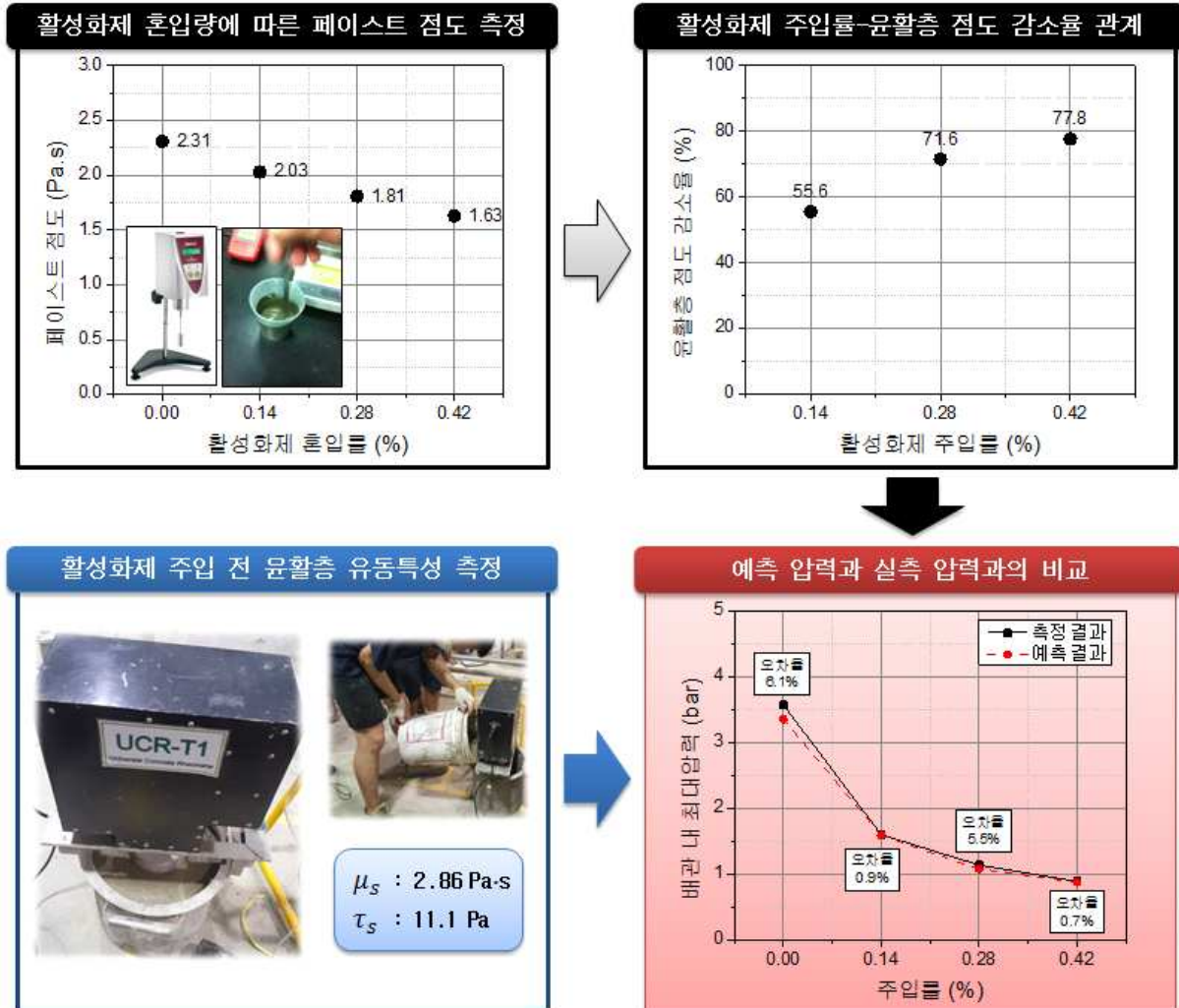
P_{max} : 배관 내 최대 압력 (bar) Q : 목표 토출량 (m^3/hr)

μ_s : 윤활층 점도 (Pa·s) τ_s : 윤활층 항복응력 (Pa)

R_P : 배관 내부 반지름 (m) R_L : $R_P - 0.004$ (m)



[그림 2.28] 윤활층 활성화제 주입에 의한 모르타르의 펌핑 압력 감소 예측 방법

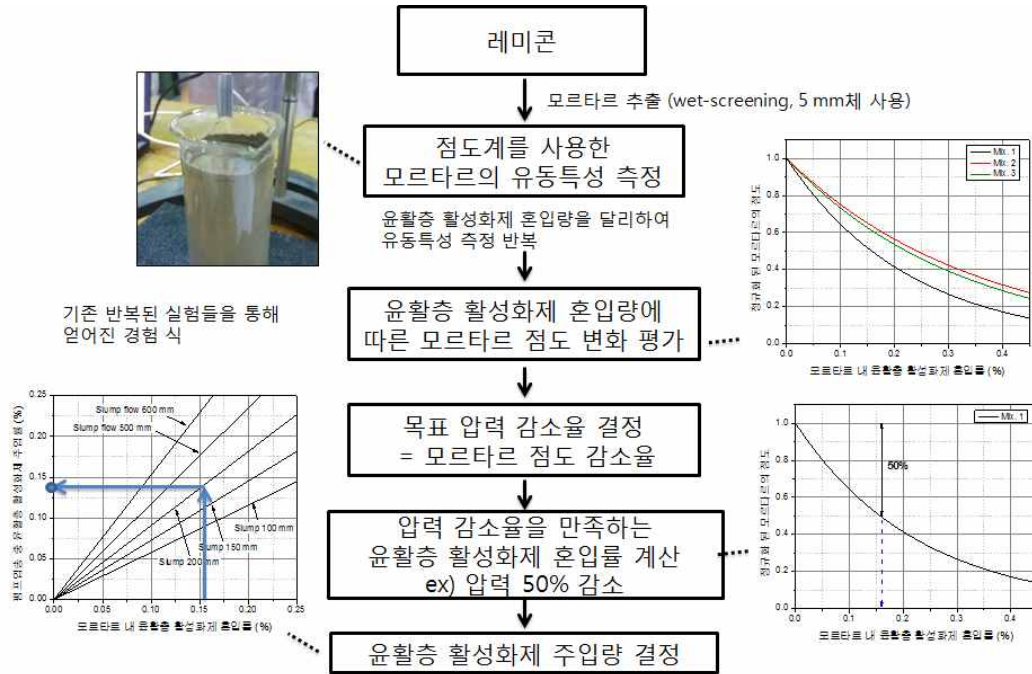


[그림 2.29] 모르타르 펌핑성능 향상 예측 방법의 검토

2.1.7.2. 콘크리트의 펌핑성능 향상 예측 방법

- 이 연구에서는 목표 압력감소율을 만족시키는 활성화제 주입률을 계산하는 방법을 제시하였으며, 그 실험 및 계산 과정은 그림 2.30에 나타내었다.
- 1) 5 mm 체를 사용하여 콘크리트로부터 모르타르를 채취한다; 2) 윤회층 활성화제 혼입에 따른 모르타르의 점도 변화를 측정한다; 3) 2)로부터 활성화제 혼입률-모르타르 점도 변화 관계를 계산한다; 4) 기존 콘크리트 펌핑 예측식[11]으로부터 활성화제 주입 전 압력을 예측하고 목표 압력 감소율을 결정한다; 5) 목표 압력감소율과 동일한 수준의 점도 감소율을 만족시키는 활성화제 혼입률을 계산한다; 6) 기존 예측 데이터로부터 도출된 슬럼프 및 슬럼프 플로우 별 활성화제 혼입률-주입률 관계를 사용하여 윤회층 활성화제의 주입률을 결정한다.
- 제시한 예측 방법의 검증을 위해 112 m 파이프라인을 사용한 실험 과정에서 측정된 실험 결과와 예측 결과를 비교하였으며, 그림 2.31에 나타난 것과 같이 높은 정확도로 실측 결과를 예측하는 것을 확인하였다.
- 식 3.1에 따라 정확성을 검토하였을 때 예측 방법의 정확도는 95.8%로 계산되었다.
- 이 예측 방법의 검증은 일부 콘크리트에 대해서 진행되었으며, 추후 다양한 조건의 펌핑

실험을 통해 예측 방법을 확립해야 할 것으로 판단된다.



[그림 2.30] 콘크리트 펌핑 중 윤활층 활성화제 주입량 결정 방법

[그림 2.31] 콘크리트 펌핑 중 활성화제 주입에 의한 실측 압력과 예측 압력 비교

$$\text{정확도}(\%) = \left(1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\text{측정된 값} - \text{계산된 값}|}{|\text{측정된 값}|} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

2.2. 연구수행 성과

- 윤활층 활성화제 주입 기술 개발 과정에서 발생한 성과는 다음과 같다.

▷ 논문 게재 성과

번호	논문명	저자명	학술지명	권(호)	게재연도	비고
1	시멘트계 재료의 펌프압송성능 향상을 위한 윤활층 활성화제 주입 방법 제안 및 소규모 검증	이정수, 유용선, 한진규, 박찬규, 권승희	한국건설순환자원학회 국문논문집	5(4)	2017	국내 비SCI
2	실규모 콘크리트 펌프 압송 실험을 통한 윤활층 활성화제 외부 주입 방법의 효과 검증	이정수, 장경필, 박찬규, 권승희	한국콘크리트학회 국문논문집	30(6)	2018	국내 비SCI

▷ 학술 발표 성과

번호	논문명	저자명	학술지명	권(호)	게재연도	비고
1	윤활층 활성화제 종류와 주입률에 따른 콘크리트 펌핑 효율 향상 가능성 검토	이정수, 한진규, 김유승, 권승희	한국콘크리트학회 학술대회 논문집	29(2)	2017	국내
2	실규모 콘크리트 펌핑 실험을 통한 외부 윤활층 활성화제 주입 기술의 적용성 검토	이정수, 한진규, 김유승, 권승희	한국콘크리트학회 학술대회 논문집	30(1)	2018	국내
3	외부 윤활층 활성화제 주입에 의한 콘크리트 펌핑 성능 향상 정량적 예측 가능성 검토	이정수, 지민수, 장영웅, 권승희	한국콘크리트학회 학술대회 논문집	31(1)	2019	국내

▷ 특허 성과

번호	특허명	발명자	등록(출원)번호	등록(출원) 일자	비고
1	콘크리트 펌프 압송 중 윤활층 활성화제 주입량 결정방법	권승희 이정수	10-2018-0172325	18.12.28	국내 출원
2	콘크리트 압송배관의 윤활층 활성화 조성물	한진규	10-2008879 (10-2018-0109106)	19.08.02	국내 등록
3	콘크리트 압송배관의 윤활층 활성화를 이용한 콘크리트 압송방법	한진규	10-1980630 (10-2018-0109107)	19.05.15	국내 등록
4	콘크리트 압송배관의 윤활층 활성화 장치	권승희 김유승	10-2018-0023815	18.02.27	국내 출원
5	콘크리트 압송 배관의 윤활층 활성화 장치 및 윤활층 활성화 방법	권승희 김유승	PCT/KR2018/0024 31	18.02.28	해외 출원

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3.1. 목표

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		3차년도 질적 성과					해당 기관	예산 (백만)	3차년도 양적 목표		
					질적성과지표	목표치	측정 방법	검증 방법	가중 치			목표치	가중치	
총괄	A	윤활충 활성화 시스템 개발	A-1	윤활충 활성화제 주입 장치	①	정량 제어	0 ~ 6 L/ min	실 험	보 고 서	3	(주)케이 우스코 리아	80	국내특허등록: 2건	10
			A-2	윤활충 활성화제	①	콘크리트 압축강도 변화	강도 5% 미만	실 험		2	(주)케이 우스코 리아	80	국내특허등록: 1건	10
	B	검증 실험	B-1	현장실험	①	압력 감소율	20 % 이상	실 험	논 문	5	(주)케이 우스코 리아/ 명지대 학교	580	인력양성: 1건	30
	C	신기술인 증	C-1	신기술 신청 및 획득	①	신기술인증	획득	-	신 기 술 인 증 서	5	(주)케이 우스코 리아/ 명지대 학교	50	신기술인증: 1건	25
	D	비즈니스 모델	C-2	비즈니스 모델 수립	①	비즈니스 모델 수립	모델 수립	-	비 즈 니 스 모 델	5	(주)케이 우스코 리아/ 명지대 학교	50	비즈니스모델: 1건	25
계										20		840	국내특허등록: 3건 신기술인증: 1건 비즈니스모델: 1 건 인력양성: 1건	100

3.2 목표 달성여부

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		3차년도 질적 성과				3차년도 양적 목표	
					질적성과지표		목표치	달성치	목표치	달성건수
총괄	A	유허층 황성화 시스템 개발	A-1	유허층 황성화제 주입 장치	①	정량 제어	0 ~ 6 L/min	0 ~ 6 L/min	국내특허 등록: 2건	국내특허 등록: 1건 등록예정: 1건
			A-2	유허층 황성화제	①	콘크리트 압축강도 변화	강도 5% 미만	강도 5% 미만	국내특허 등록: 1건	국내특허 등록: 1건
	B	검증 실험	B-1	현장실험	①	압력 감소율	20 %이상	30-50 %이상	인력양성: 1건	박사 1명
	C	신기술인증	C-1	신기술 신청 및 획득	①	신기술인증	획득	예정	신기술인증: 1건	공동신기술 진행 중
	D	비즈니스 모델	C-2	비즈니스 모델 수립	①	비즈니스 모델 수립	모델 수립	모델 수립	비즈니스 모델: 1건	비즈니스 모델: 1건
계									국내특허 등록: 3건 신기술인증: 1건 비즈니스 모델: 1건 인력양성: 1건	국내특허 등록: 2건 국내특허 출원: 2건 해외특허 출원: 0건 신기술인증: 0건 비즈니스 모델: 1건 인력양성: 1건

3.3 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 미달성 성과 :
 - 국내특허등록 1건
 - 신기술 인증 1건
- 국내특허등록 1건
 - 2018년 2월 출원된 특허(출원번호 10-2018-023815)가 계속 심사중으로 현재 공개 상태임.
 - 심사관 상담 결과, 기술적으로 등록에는 문제가 없을 것으로 보인다는 의견받음.
 - 위임장 제출 누락에 따른 행정상의 문제로 심사가 연기된 상황으로 나타남. 이에 따라 위임장을 제출, 보완하였으며, 심사관의 심사를 기다리는 중임
- 해외특허출원 1건
 - PCT 출원 이후, 해외 현장 실험, 공동신기술 추진 등 연구진행 하던 중, 해외출원 1건 누락에 대한 보완검토의견 받음
 - 해외 기업 중 가장 큰 관심을 나타낸 KAJIMA 건설에의 적용에 대비해 일본에 특허출원 진행 중이며, 일본 특허 출원에는 현지에서 마케팅을 진행하는 Chemius Japan과 공동으로 출원을 진행중임. 당초 12월 내에 출원을 목표로 하였으나, 명지대 측의 해외출원 심사 절차에 따라 다소 늦어지게 됨.
- 신기술인증 1건
 - 당초 주관연구기관인 (주)케미우스코리아와 명지대가 건설신기술을 추진하려고 하였으나, 현장검증, 적용 및 영업 등 신기술인증 만으로는 사업화가 어려울 것으로 판단되어 가능한 많은 시공사와 공동으로 신기술을 추진하기로 함.
 - 포스코건설, 쌍용건설, 현대건설이 공동신기술에 동참하기로 하였으며 현재 협약 단계에 있음. 협약이 완료되면, 곧바로 신기술인증 신청에 들어갈 예정임.
- 특허와 관련된 미달성 성과는 모두 1~2개월 내에 달성이 가능할 것으로 판단됨
- 미달성된 신기술 인증 1건은 건설사 들의 참여로 다수의 현장을 확보할 수 있어 보다 수월하게 인증을 받을 수 있을 것으로 기대됨

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

4.1 사업화 전략

4.1.1. 개발기술의 생산특성

- 펌프 유도제의 핵심원료는 PCE, EG, Glycerin이며 이 원료들은 유가에 연동되는 특징이 있고 재료 조달은 매우 용이
- 본 과제에서 주입시스템이 개발되면 대규모 및 소규모 생산이 바로 가능

4.1.2. 기존 자원 활용정도

- 기존 사업아이템과 R&D과제의 연관정도
: 본 기업이 보유한 “콘크리트 펌프 유도제”는 이 사업화과제의 최종 결과물인 “유효층 활성화 시스템”의 3가지 요소 중 하나로 작용하는 핵심적인 기술임.
- 기존 생산라인(설비포함) 예상 활용정도(100 %) 및 근거
: 기존 이용 원료로 생산중이며 설비 증설 없이 이용이 가능
- 원재료 및 개발설비 공용화정도(100 %) 및 근거
: 신규 원재료(PCE) 등 다른 제품 원료로도 활용이 가능할 것으로 예상되며 개발시스템은 고압, 고층 콘크리트 압송전용으로 이용할 예정

4.1.3. 국내·외 시장규모 및 전망

4.1.3.1. 국내 시장규모 및 전망

- 국내의 경우 콘크리트 펌핑이 필요한 40층 이상의 주거건축물은 세계 4위의 수준에 있으며, 100대 주거용 건축물 중 9동이 국내에 있어 세계 3위에 속하고 있고, 향후에도 그 수요는 지속적으로 증가될 것으로 예상됨.
- 또한 서울, 인천 등 지자체 추진형 초고층복합단지개발 및 국내 대기업 자체사업으로 도시경쟁력 확보 및 도심재생 등의 목적으로 100~150층 건물 건립이 활발히 추진되고 있고 고층 건물 보수, 보강 및 리모델링 시장이 개척되고 있는 중임.
- 국내 고층 건물의 콘크리트 압송 및 타설은 상위 4개사가 대부분을 시공하고 있음.
- 4개사의 2018년 매출액 합계는 약 34,085백만원으로 2016년 대비 160% 성장하였음.

4.1.3.2. 해외 시장규모 및 전망

- 해외 초고층건축분야에서 미국은 설계 및 엔지니어링 분야에서 세계시장을 선도하고 있고 유럽은 디자인, 환경기술 등 소프트웨어 분야에서 경쟁에 우위에 있는 현실임.
- 또한 전 세계 초고층건물 시장이 2025년 약 1,300조원, 2040년에는 약 3,500조원에 이르는 대형 시장이 형성될 것으로 예상됨.

4.1.4. 최종제품의 제품경쟁력 수준

- 고층건물에 윤활층 활성화 기술을 적용할 경우,
 - ① 콘크리트 배관 폐색 방지
 - ② 슬래브 등에 적정 강도의 경제적 콘크리트 사용 가능
 - ③ 압력 감소에 따른 유류비 절감
 - ④ 콘크리트 품질 상시 모니터링에 따른 하자 발생 방지
 - ⑤ 콘크리트 배관 공용 수명 증가 등 다양한 경제적 효과를 기대할 수 있음.
- 본 기술을 적용할 경우의 기존 기술 대비 경제성 문제는 콘크리트 펌핑 회사와 건설사와의 역학적인 문제로, 수치상으로는 표현하기는 매우 어려운 실정임.
- 다만, 초고층구조물에 본 기술을 적용할 경우, 적정 강도의 콘크리트를 사용함에 따라 원가 절감이 가능한 사례는 다음과 같음.
- 대상 구조물은 총 105층에 달하는 초고층 빌딩으로서, 20층 이상의 슬래브에 대해서는 펌핑 문제로 35MPa 급 콘크리트로 약 51,000m³의 물량이 설계되어 있는 것으로 가정하였다(4,000m³/층 * 85층 * 두께 0.15m), 이 현장에 윤활층 활성화 기술을 적용하여 콘크리트 펌핑 문제를 해결할 경우 35MPa급 콘크리트를 24MPa 급 콘크리트를 적용하는 것으로 가정하였음.
- 본 기술을 적용하면서 추가 상승되는 비용은 윤활층 활성화제 사용에 따른 비용과 주입장치 임대료임.
- 이 때 윤활층 활성화제의 주입량은 매우 미미하여 m³당 2kg(0.2 vol%) 소요되며, 적용된 단가는 2,500원/kg(5,000원/m³)임.
- 또한, 주입장치의 임대료는 타설 전 기간에 걸쳐 2억 원으로 산정하였음.
- 본 기술을 적용함에 따른 절감액을 정리하면 다음의 표와 같음.

구분		기존 기술	본 기술	증 감
콘크리트	호칭강도	35 MPa	24 MPa	
	단가(원/m ³)	97,160	75,270	▼21,890
	수량(m ³)	51,000		
	금액(천원)	4,955,160	3,838,770	▼1,116,390
활성화제(천원)		-	255,000	▲255,000
주입 장치(천원)		-	200,000	▲200,000
합 계(천원)		4,955,160	4,293,770	▼661,390 (13.3%)

- 콘크리트 변경에 따른 재료비 절감 효과만 약 6억6천만원, 13% 이상의 비용 절감이 가능한 것으로 나타남
- 이 외에 배관 폐색 방지에 의한 공기 준수, 압력 절감에 의한 유류비 절감, 콘크리트와 배관과의 마찰력 저감에 따른 펌프 배관 사용기간 증대 등 다양한 경제적 효과가 있을 것으로 기대됨.
- 이외에 콘크리트 뿐만 아니라, 콘크리트와 유사한 거동을 보이는 모르타르, 슬러지, TBM 버력, 석탄회, 준설토 등 다양한 재료의 펌핑에 적용이 가능할 것으로 예상되어

시장은 더욱 더 커 질것으로 예상되며, 동일한 수준의 경쟁 기술이 없어 사업성은 매우 높을 것으로 보임.

4.1.5. 비즈니스 모델

- 콘크리트 펌핑에 있어 현장에 도착하는 콘크리트의 품질은 건설사와 콘크리트 공급업체인 레미콘사에서 담당하며, 펌핑사업자는 콘크리트의 물성이 펌핑이 가능한가 하는 정도만을 판별하여 펌핑 및 타설이 진행됨.
- 따라서, 현장에서 적절한 관리 감독이 이루어지지 않는 경우, 원래 배합설계된 콘크리트의 물성보전 보다는 펌핑의 용이성이 더 큰 요소로 작용하게 됨.
- 현재, 현장에 도착한 레미콘에 대해서는 적절한 품질관리가 이루어지고 있으나, 펌핑 후 콘크리트에 대한 품질관리는 매우 어려운 실정임. 특히 타설 도중 급격한 슬럼프 로스 등의 물성 변화에 대한 대응책이 거의 없는 실정임.
- 율활층 활성화 시스템을 적용하게 되면, 펌핑 후에도 콘크리트의 물성이 유지될 뿐만 아니라, 지속적으로 펌핑 전/후의 콘크리트의 물성에 대한 모니터링이 이루어져 자연스럽게 콘크리트 품질관리가 이루어짐
- 율활층 활성화 시스템이 펌핑사업자에게는 펌핑 압력을 낮추고 배관 폐색 등 사고를 미연에 방지할 수 있는 등 많은 장점이 있음. 그러나 직접적인 비용상승과 기존의 시공수관 때문에 실제 적용에는 매우 소극적으로 대응할 수밖에 없음.
- 건설사 입장에서는 펌핑 전/후 콘크리트의 품질관리를 맡길 수 있을지에 대한 의구심을 해소할 수 있는 검증이 필요함.
- 따라서 율활층 활성화 시스템의 사업화를 위해서는 가능한 다수의 건설사를 포함한 공동신기술을 추진함으로써, 건설사에서 원하는 기술의 검증을 받고 기존의 펌핑에 품질관리까지 동시에 수행하는 비즈니스 모델을 개발하였음
- 이 기술의 고객인 건설사 입장에서는 최소의 비용 상승으로 콘크리트 배관 폐색 방지 등 안전 및 공기에 관련된 문제를 해결함과 동시에 펌핑 후 콘크리트에 대한 품질관리로 하자발생 요인을 최소화 할 수 있는 잇점이 있음



[그림 4.01] 기존 펌핑사업자와 율활층활성화시스템 비즈니스 모델 검토



[그림 4.02] 건설사와 공동신기술을 통한 유효충활성화시스템 비즈니스 모델

4.2. 판매계획 및 전략

4.2.1. 연도별 판매계획

(단위 : 백만원)

연 도 별		2020년 (개발 종료 후 1년)	2021년 (개발 종료 후 2년)	2022년 (개발 종료 후 3년)	2023년 (개발 종료 후 4 년)
매출액	국내	800	1,600	1,600	1,600
	해외	800	1,600	4,800	8,000
합계		1,600	3,200	6,400	9,600

○ 산출 근거

① 유도제(유효충 활성화제)

고층건물 1개소 콘크리트 수량 : 100,000 m³

예상 유도제 사용량 : 2 kg/m³

예상 유도제 수량 = 100,000 m³ × 2 kg/m³ = 200,000 kg

유도제 예상 단가 = ₩3,000/ kg

고층건물 1개소 예상 매출액 = 200,000kg × ₩3,000/kg = ₩600,000,000

② 주입장치

주입장치 예상 월 임대료 : ₩20,000,000/월

고층건물 1개소 예상 사용기간 : 10개월

고층건물 1개소 예상 매출액 = ₩20,000,000 × 10개월 = ₩200,000,000

- 고층건물 현장 1개소당 유도제 6억원 + 주입시스템 2억원, 총 8억원 매출 예상됨.
- 초고층 건물의 콘크리트 압송관 직경이 6"→5"로 감소 시 소요비용 30억 비용절감.
- 이외에도 사용 펌프용량 감소 및 시공 속도 증가에 의한 경제적 효과 예상됨.
- 유허시스템 적용 시 20억 이상의 비용절감 효과 기대됨.
- 공동신기술 인증 이후 2021년부터 국내현장 매출 발생 현장을 2개소로 예상함

4.2.2. 국내외 판매 마케팅 전략

4.2.2.1. 국내 판매 마케팅 전략

- 국내 고층 건물의 콘크리트 압송 시공 구조는 다음과 같음.
- 레미콘 공장에서 생산된 콘크리트가 현장에 도착하여 펌핑되는 경우, 콘크리트의 품질관리는 건설사가 수행하며, 펌핑 장비의 운용 및 타설은 펌핑사업자가 수행하게 됨.
- 콘크리트 펌핑 도중 배관 폐색이 발생하는 경우는 많은 경우 콘크리트의 품질이 펌핑에 적합하지 않거나, 펌핑 도중 타설지연에 의해 배관 내에서 탈수 또는 재료분리가 일어나는 경우임.
- 따라서, 배관 폐색이 발생하면 콘크리트의 품질관리를 제대로 수행하지 못한 건설사의 책임인지, 압송성 향상을 위해 가수 또는 타설 지연에 따른 펌핑사업자의 책임인지 매우 불분명하게 됨.
- 그러나 이러한 경우에 있어, 레미콘의 품질편차 때문인 것으로 간주되는 경우가 많아, 건설사들이 책임을 지고 배관 교체 등을 수행하는 실정임.
- 배관 폐색에 따른 책임을 시공사에서 지는 경우가 많으므로, 펌핑사업자는 유허층 활성화 기술과 같은 기술 도입에 다소 소극적인 현실임.
- 이에 따라 이 기술의 현장 도입을 위해선 건설사의 적극적인 참여가 매우 중요한 상황임.
- 이 과제에서는 건설신기술 인증을 추진하였는데, 중소기업과 대학교만으로 이루어진 신기술권자의 건설신기술을 현장에 적용하는 것은 많은 애로 사항이 있을 것으로 판단되며, 훌륭한 기술이 널리 적용되지 못하는 경우도 많은 것으로 알려짐.
- 새로운 기술이 사장되지 않도록 하기 위해서는 가능한 많은 건설사를 신기술에 포함시켜 자사 현장에 보편적으로 널리 사용되도록 유도하여 유허층 활성화 기술 시장 자체를 키우는 전략이 주효할 것으로 예상됨.
- 따라서 주관기관인 (주)케미우스코리아와 공동기관인 명지대학교는 포스코건설, 현대건설, 쌍용건설 등 대형 건설 시공사를 파트너로 선정하여 건설신기술을 동반신청할 예정임.
- 포스코건설은 이미 여의도 Parc1 프로젝트에 유허층 활성화 기술의 현장적용을 마쳤고, 추가로 진행되는 초고층 건물 프로젝트에 적극 적용할 예정임.
- 현대건설은 105층으로 계획된 GBC 프로젝트에 적용할 계획이며, 이외에 이진베이시티, 고덕대교 프로젝트에 적용할 계획임

- 쌍용건설은 말레이시아 Oxley 프로젝트에 적용을 추진하고 있으며, 현장시험을 마쳤음.
- 각 건설사 별 초고층, 장대교량 등 특수현장의 콘크리트 품질유지 이외에도 다수의 아파트 현장에 저장도 콘크리트 적용을 통한 경제성 확보로 영업을 추진할 예정임
- 현대건설의 교량현장에 첫 적용을 위한 실내시험 수행중이며, 3~4월 중 Mock-up 실험을 통해 현장 적용 추진 중임. 현장적용 시 약 4 ~ 8억 원의 매출발생 예상됨.
- 이외에 도심지 터널구간 라이닝용 폴리머 콘크리트 타설 등 장거리 특수 콘크리트 압송 관련 시장에서의 적용도 추진할 예정임

구분	건설사	현장	적용 포인트	비고
초고층	포스코건설	청라씨티타워	저강도콘크리트 압송	슬래브 적용
	현대건설	GBC	콘크리트 품질 유지	슬럼프 유지
	쌍용건설	옥슬리타워	콘크리트 품질 유지	슬럼프 유지
장대교량	현대건설	고덕대교	콘크리트 품질 유지	슬럼프 유지
아파트	포스코건설	지제역 더샵 외	저강도 콘크리트 압송	슬래브 적용
	현대건설	힐스테이트 이진 베이 외	콘크리트 품질 유지	슬럼프 유지
	쌍용건설	플래티넘부평 외	저강도 콘크리트 압송	슬래브 적용

4.2.2.2. 국외 판매 마케팅 전략

- 해외에서 시공중인 국내 대형건설사를 이용하여 현지 시장 진입을 계획중임.
- 현지 진입 후, 발주처 및 현지 시공사 등에 기술 소개 및 영업을 진행할 예정이며, 이 과정에서 일부 부품, 윤활층 활성화제의 현지 생산 체계를 구축할 예정임.
- 특히 윤활층 활성화제의 경우, 운반에 많은 비용이 소모되므로 한국에서는 현지로 Core Material만 수출하여, 현지에서 최종제품화 하는 것이 인허가 등에 유리할 것으로 판단됨
- 또한, 해외 전시회 등에 적극적으로 참가하여 기술홍보를 지속적으로 진행할 예정임
- 일본 콘크리트 학회 전시회에 본 기술을 출품하고 시험시공을 진행한 결과, 일본 Kajima건설과 윤활층 활성화시스템 도입을 협의하는 단계에 이름.

4.3. 성과물의 활용방안

- 개발된 윤활층 활성화 기술은 콘크리트 펌핑 뿐만 아니라, 콘크리트와 유사한 거동을 보이는 모르타르, 슬러지, TBM 버력, 석탄회, 준설토 등 다양한 재료의 펌핑에 적용이 가능할 것으로 예상됨
- 현재 이렇게 펌핑효율을 증대시킬 수 있는 동일한 수준의 경쟁 기술이 없어 사업성은 매우 높을 것으로 보임.
- 또한, 간단한 실내시험으로 펌핑 전/후의 콘크리트 물성을 예측하는 기술 역시 매우 독창적이고 효율적인 기술임.
- 펌핑 후의 물성 예측이 매우 어려우므로 대형 건설 프로젝트에서는 실제 펌핑 전에 500m, 800m, 1,000m 등 장거리 실규모 펌핑시험을 진행하여 콘크리트의 펌핑 후 물성을 판단하는 실정임.
- 이를 예측기술을 활용하여 신뢰성 있게 간단히 검증하여 콘크리트 배합의 보완 및 윤활층 활성화 시스템에 적용할 예정임

4.4. 기대성과 및 파급효과

4.4.1. 과학기술적 측면

- 본 연구에서 개발된 기술을 바탕으로 콘크리트 이송뿐만 아니라 타 산업에서의 슬러리 이송 분야에까지 활용분야가 높을 것으로 기대됨.
- 이송 효율을 극대화할 수 있는 기술(시스템)을 확보하면 건설 분야 및 플랜트 분야의 세계시장에서 우위를 점할 수 있을 것으로 판단됨.

4.4.2. 사회·경제적 측면

- 콘크리트 펌핑 효율 향상을 위한 윤활층 활성화 시스템을 통해 콘크리트의 장거리 이송이 가능해짐에 따라 초고층, 초장대 교량과 같은 대형 콘크리트 구조물의 경량화 가능해지며 국내 석탄회 트럭운송을 파이프라인 이송으로 교체 시 기존 대비 약 70%(연간 330억원)의 비용 절감효과를 가져와 건설 사업 분야에서의 국가 경쟁력, 그리고 경제적으로 큰 파급효과 기대됨.
- 초고층 건설에서 최고 도달가능 층수 여부는 engineering보다 경제성에 좌우하기 때문에 펌핑 효율을 향상시켜 비용절감 효과를 가져와 경제적 수익 기대됨.

4.4.3. 정책적 측면

- 개발 기술의 보급이 이루어지면 현장 기술 인력에 대한 수요가 증가하여 일자리 고급화에 기여 가능함.
- 개발 기술의 해외 수출 및 기술이전을 통한 국가 이미지 제고.

붙임. 참고문헌

1. Choi, M. S., Roussel, N., Kim, Y. J., and Kim, J. K., "Lubrication layer properties during concrete pumping," *Cement and Concrete Research*, V. 45, 2013, pp. 69-78.
2. Jo, S. D., Park, C. K., Jeong, J. H., Lee, S. H., and Kwon, S. H., "A Computational Approach to Estimating a Lubricating Layer in Concrete Pumping," *Computers, Materials, & Continua*, V. 27, No. 3, 2012, pp.189-210.
3. Kaplan, D., Larrard, F. D., and Sedran, T., "Design of concrete pumping circuit," *ACI Materials Journal*, V. 102, No. 2, 2005, pp. 110-117.
4. Kwon, S. H., Jo, S. D., Park, C. K., Jeong, J. H., and Lee, S. H., "Prediction of concrete pumping: Part I - Development of New Tribometer for analysis of Lubricating Layer," *ACI Materials Journal*, V. 110, No. 6, 2013, pp. 647-656.
5. Feys, D., Khayat, K. H., Perez-Schell, A., and Khatib, R., "Prediction of pumping pressure by means of new tribometer for highly-workable concrete," *Cement and Concrete Composites*, V. 57, 2015, pp. 102-115.
6. Kwon, S. H., Jang, K. P., Kim, J. H., and Shah, S. P., "State of the Art on Prediction of Concrete Pumping," *International Journal of Concrete Structures and Materials*, V. 10, No. 3, 2016, pp. 77-85.
7. Chapdelaine, F., "Etude fondamentale et partique sur le pompage du beton," Ph. D. Thesis, Faculty of the Higher Studies of Laval University, Canada, 2007.
8. Ngo, T. T., Kadri, E. H.; Bennacer, R., and Cussigh F., "Use of Tribometer to Estimate Interface Friction and Concrete Boundary Layer Composition during the Fluid Concrete Pumping," *Construction and Building Materials*, V. 23, No. 7, 2010, pp.1253-1261
9. Mechtcherine, V., Nerella, V. N., and Kasten, K., "Testing pumpability of concrete using Sliding Pipe Rheometer," *Construction and Building Materials*, V. 53, 2014, pp. 312-323.
10. Jang, K. P., "Design of Concrete Pumping Performance based on Quantitative Prediction," Ph. D. Thesis, *Myong-ji University*, 2018, Korea.
11. Kwon, S. H., Park, C. K., Jeong, J. H., Jo, S. D., and Lee, S. H., "Prediction of concrete pumping: Part II - Analytical Prediction and Experimental Verification," *ACI Materials Journal*, V. 110, No. 6, 2013, pp. 657-667.
12. Jang, K. P., Kim, W. H., Choi, M. S., and Kwon, S. H., "A new method to estimate rheological properties of lubricating layer for prediction of concrete pumping," *Advances in Concrete Construction*, V. 6, No. 5, 2018, pp. 465-483.
13. Choi, M. S., "Prediction of Concrete Pumping Performance base on The Evaluation of Lubrication Layer Properties," Ph. D. Thesis, *Korea Advanced Institute of Science and Technology*, 2013, Korea.
14. Choi, M. S., Kim, Y. J., Jang, K. P., and Kwon, S. H., "Effect of the coarse

- aggregate size on pipe flow of pumped concrete,” *Construction and Building Materials*, V. 66, 2014, pp. 723-730.
15. Jeong, J. H., Jang, K. P., Park, C. K., Lee, S. H., and Kwon, S. H., “Effect of Admixtures on Pumpability for High-Strength Concrete,” *ACI Material Journal*, V. 113, No. 3, 2016, pp. 323-333.
 16. Secrieru, E., Cotardo, D., Mechtcherine, V., Lohaus, L., Schrofl, C., and Begemann, C., “Changes in concrete properties during pumping and formation of lubricating material under pressure,” *Cement and Concrete Research*, V. 108, 2018, pp. 129-139.
 17. Jang, K. P., Kwon, S. H., Choi, M. S., Kim, Y. J., Park, C. K.; and Shah, S. P., “Experimental Observation on Variation of Rheological Properties during Concrete Pumping,” *International Journal of Concrete Structures and Materials*, V. 13, No. 2, 2019, pp. 167-181.
 18. ACI Committee 304. 2R-96, “Placing Concrete by Pumping Method,” *American Concrete Institute*, 1996.
 19. 권승희, “슬러리의 파이프 유동특성과 연구개발 현황”, 대한토목학회지, Vol.63, No.10, 2015, pp.22-28.
 20. Preziosi, L., Chen, K., and Joseph, D. D., “Lubricated pipelining. Part 3 Stability of core-annular flow in vertical pipes”, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 214, 1990, pp.251-286.
 21. “2014년 기술영향평가 최종보고서 : 제 3권 단기실현기술 초고층건축물”, 한국과학기술기획평가원, 2014.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.