



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2017年 8月
석사학위논문

아라미드를 활용한 그라우팅공법 보강효과 평가

조선대학교대학원

토목공학과

양열호

아라미드를 활용한 그라우팅공법 보강효과 평가

Evaluation of Reinforcement Effect of Grouting using Aramid Fiber

2017년 8월 25일

조선대학교대학원

토목공학과

양열호

아라미드를 활용한 그라우팅공법 보강효과 평가

지도교수 김 대 현

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함

2017년 4월

조선대학교 대학원

토 목 공 학 과

양 열 호

양열호의 석사학위논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 김 성 홍 (인)

위 원 조선대학교 교수 박 상 준 (인)

위 원 조선대학교 교수 김 대 현 (인)

2017년 5월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT

제 1 장 서론	1
1.1 연구배경과 목적	1
1.2 연구 동향	3
1.2.1 그라우팅 연구동향	3
1.2.2 섬유 보강 시멘트 연구동향	6
1.3 연구 내용	8
제 2 장 그라우팅 공법	9
2.1 그라우팅 개요	9
2.1.1 그라우팅의 계획요소	9
2.1.2 그라우팅 고결화 메카니즘	11
2.2 그라우팅 주입종류	12
2.2.1 그라우팅의 공정에 의한 분류	12
2.2.2 그라우팅의 주입제에 의한 분류	14
2.2.3 그라우팅의 주입방법에 의한 분류	15
2.3 침투그라우팅	17
2.4 그라우팅에 영향을 미치는 요소	19
2.4.1 그라우팅 침투이론식	21
2.4.2 침투한계 주입비	24
2.4.3 그라우트량 계산	26

2.4.4 그라우트 주입제의 특성	29
2.4.5 그라우트 약액의 특징	32
2.5 아라미드 섬유	35
2.5.1 아라미드섬유 개요	35
2.5.2 아라미드섬유 제조	37
2.5.3 아라미드섬유 구조	39
2.5.4 아라미드섬유 특성	40
제 3 장 실내실험 및 분석	42
3.1 주입재료의 gelltime 측정	42
3.1.1 gelltime 측정을 위한 배합비	42
3.1.2 gelltime 측정을 위한 제작과정	44
3.2 배합비별 일축압축강도실험	45
3.2.1 호모겔 일축압축강도를 측정하기 위한 배합비	45
3.2.2 호모겔 공시체 제작과정	47
3.3 배합비에 따른 투수시험	49
3.3.1 투수시험을 측정하기 위한 배합비	49
3.4 배합비에 따른 gelltime 분석	51
3.4.1 표면 유제처리 비율에 따른 gelltime 분석	51
3.4.2 아라미드 섬유에 따른 gelltime 분석	53
3.4.3 gelltime 종합 분석	55
3.5 배합비에 따른 일축압축강도 분석	56
3.5.1 아라미드 섬유 첨가량에 따른 일축압축강도 시험	56
3.5.2 표면유제처리에 따른 일축압축강도 시험	58

3.6 배합비에 따른 투수시험 분석	60
제 4 장 결론	62
참고문헌	64

표 목 차

표 1.1 그라우팅 기술의 연대별 개발 현황	5
표 2.1 토질에 의한 그라우트의 충전율, 그라우팅률의 참고치	29
표 2.2 보통 포트랜드 시멘트 물리적 특성	31
표 2.3 주입재 화학성분	32
표 2.4 물유리별 규격	33
표 2.5 각 섬유별 특징	41
표 3.1 geltime 측정을 위한 주입재 배합비	43
표 3.2 일축압축강도 측정을 위한 주입재 배합비	46
표 3.3 투수시험 측정을 위한 주입재 배합비	49
표 3.4 geltime 종합 분석결과	55
표 3.5 배합비별 투수시험 결과	61

그림 목 차

그림 2.1 그라우팅 주입요소별 거동특성	10
그림 2.2 흙 입자 간극에서 약액의 침투와 규산겔에 의한 고결 모형도	11
그림 2.3 혼합공정에 의한 주입방식의 분류	13
그림 2.4 그라우팅 주입재에 의한 분류	15
그림 2.5 그라우팅 주입방법의 분류	17
그림 2.6 그라우트 재료에 대한 고결진행시험	20
그림 2.7 토립자 입경과 주입재 입경에 의한 침투한계 분석도	25
그림 2.8 d/D(%)의 공극률 n과의 관계	26
그림 2.9 몰유리의 겔화 과정	33
그림 2.10 몰유리-시멘트 현탁액의 전하 치환	35
그림 2.11 파라계 아라미드 섬유	36
그림 2.12 파라아라미드섬유의 개발 역사	36
그림 2.13 파라아라미드 원사의 제조 과정	38
그림 2.14 파라계 아라미드 섬유의 화학식	39
그림 2.15 파라계 아라미드 섬유의 구조	40
그림 3.1 gelltime 측정을 위한 시험과정	43
그림 3.2 주입재의 gelltime 측정 모습	44
그림 3.3 일축압축강도 측정을 위한 시험과정	46
그림 3.4 호모겔 제작에 사용된 일축압축 시험용기	47
그림 3.5 일축압축시험 진경	48
그림 3.6 투수시험 배합 과정	50
그림 3.7 아라미드 섬유에 표면 유제처리 된 모습	51
그림 3.8 표면유제처리 비율이 0.7%에 따른 Gelltime 실험결과	52
그림 3.9 표면유제처리 비율이 1.2%에 따른 Gelltime 실험결과	53
그림3.10 아라미드 0.5% 배합의 Gelltime 측정결과	54
그림3.11 아라미드 1.0% 배합의 Gelltime 측정결과	54
그림3.12 아라미드 1.5% 배합의 Gelltime 측정결과	54
그림 3.13 표면유제처리 0.7%일 때 아라미드섬유 첨가량에 따른 일축압축강도 결과	56

그림 3.14	표면유제처리 1.2%일 때 아라미드섬유 첨가량에 따른 일축압축강도 결과	57
그림 3.15	아라미드섬유 0.5% 일 때 표면유제처리에 따른 일축압축강도 결과	58
그림 3.16	아라미드섬유 1.0% 일 때 표면유제처리에 따른 일축압축강도 결과	59
그림 3.17	아라미드섬유 1.5% 일 때 표면유제처리에 따른 일축압축강도 결과	60

ABSTRACT

Evaluation of Reinforcement Effect of Grouting using Aramid Fiber

Yang, Yeol Ho

Advisor : Prof. Kim, Daehyeon, Ph. D.

Department of Civil Engineering

Graduate School of Chosun University

Grouting Method has been used to improve the increment of bearing capacity and the restore of buildings, which are damaged due to different settlement and sinking that caused by lowering ground water, rising ground water, and vibrations, such as reinforcement of soft soils, grout-ability, and constructions of dams and reservoirs. Also, proper reinforcement method for the environment abutting on water is needed because of blue algae problem and pectinatella magnifica, recent water pollution across the nation.

Agricultural reservoirs installed in the whole country today are 17,477. Reducing the lifetime of reservoirs of them to 50 years, 69.5% of the reservoirs of all, 12,148, have been over 50 years, and 25.7% of the all reservoirs, 4,498, have been between 30 and 50 years. 95.2% of the agricultural reservoirs have been over 30 years. Furthermore, 245 of 3,206 reservoirs checked up in South Jeolla province were D level of shortage standards, so it showed there were serious durability and safety problems. Grouting Method has been applied to the reinforcement of these deteriorated reservoirs.

The fiber using in this study has high strength and high elastic ratio after forming hydrogen bond between molecules of amide group and increasing crystallinity according to periodically chain of a fan shape exists. After the

combination between molecules of amide group mixes p-Aramid, combined at benzene ring's para point, we want to develop grouting materials containing high strength and high stiffness.

This study figured out whether or not it is potential fiber for applied to grouting, using p-Aramid fiber, and comparing with LW method and comparing with gettime and homo-gel uniaxial compressive strength test and permeability test, it confirmed if it is possibly additive for grouting. For using grouting materials, the ratio of sodium silicate and water was fixed in 30 : 70, and the W/C ratio of water : cement was also fixed in 200%. Then, comparing test was conducted with p-Aramid fibers were mixed in 0%, 0.5%, 1.0%, and 1.5%, the ratio of surface emulsion treatment were mixed in 0.7% and 1.2%.

On the basis of aging 28 days, when surface emulsion treatment 0.7% and p-Aramid fibers 1.5% are additive, it more increased approximately 25% than the test without additive p-Aramid fibers. When surface emulsion treatment 1.2% and p-Aramid fibers 1.5% are additive, it more increased approximately 62% than the uniaxial compression without p-Aramid fibers.

The test showed that in the all of aging day with 1.2% of surface emulsion treatment, it increased approximately 20~30% than with 0.7% of surface emulsion treatment. As you see, depending on increasing the amount of p-Aramid fibers and increasing the ration of surface emulsion treatment, compressive strength tends to grow. Increased ratio of surface emulsion treatment of fiber causes high fiber's dispersion capacity, so it equably breaks up much more fiber and then fiber's bridging process occurs in the ingredients of cement to increase uniaxial compressive strength. It seems that it highly influences on fiber's disperse capacity and crack controls.

In the result of permeability test, as the amount of fiber and the ratio of surface emulsion treatment increase, permeability showed low because the amount of permeability was low. It seems that the permeability is low because the distributed fiber inside the permeability test specimens prevents specimens' contraction, and surface emulsion treatment improves disperse capacity, so it prevents contraction inside of specimens.

제 1 장 서 론

1.1 연구배경과 목적

최근 대형 건설현장의 지반 굴착 등 토목공사와 노후화된 저수지 및 댐 그리고 저·고심도 지하철 등 지반의 안정성 확보를 위해 각종 많은 그라우팅 공법이 사용되고 있다. 또한 경제가 발전함에 더불어 교통량도 증가하고 인구 집중 현상이 생기게 되었다. 이러한 원인으로 인해 각종 구조물이 대형화됨에 따라 매립지역, 연약지반, 포화점토 및 높은 지하수위 등 여러 가지로 제약을 받는다.

과거에는 연약지반의 현장조건을 고려하여 원지반 토사 자체를 치환하는 치환공법, 샌드 드레인, 페이퍼 드레인을 사용하였고 압밀을 유발하는 압밀배수공법, 동적하중을 이용하여 연약지반을 개량하는 다짐공법, 시멘트나 약액 등 화학약품을 이용하여 지반을 고결화시키는 그라우팅공법 등을 주로 사용하였다(박경호, 2015).

그라우팅공법은 토목분야에서 주로 사면보강, 매립지역, 제방, 댐, 준설 등 차수의 목적, 구조물의 보수 보강, 연약지반 보강으로 사용되었다. 최근에는 지하철, 공항 공업단지 조성, 고속철도, 항만, 수력·화력·원자력 발전소, 고속도로 등 수많은 대규모 국가 산업시설물 건설공사에서 사용되고 있다. 하지만 공사가 진행되는 동안 연약한 지반의 안전대책이 소홀해 비롯되는 안전사고가 빈번히 발생하고 있으며, 구조물이 완성된 후에 발생하는 기울어짐, 균열, 누수 등의 원인도 기초지반의 부등 침하가 직접적인 원인인 경우가 많다(천병식 등, 1994).

이와 같이 그라우팅 공법은 연약지반의 보강 및 차수, 저수지와 댐 시공 등 지하수위 저하 또는 상승과 진동으로 인하여 침하 및 부등 침하에 피해를 받는 건물의 원상복구 및 지지력증대의 개선하기 위해서 사용되고 있다. 또한, 현재 전국의 수질 악화로 큰빛이끼벌레와 녹조 현상으로 친수환경에 적합한 보강 공법이 필요하며, 이에 따른 노후된 저수지의 보수 보강이 필요한 실정이다.

현재 전국의 설치된 농업용 저수지는 17,477개로 그 중 저수지의 내구 연한은 50년으로 축소하는데, 전국 저수지 가운데 50년 이상 된 곳이 12,148개로 전체의 69.5%를 차지하였고 30~50년 미만의 저수지는 4,498개로 25.7%를 차지하고 30년 이상 된 농업 저수지는 95.2%에 이른다. 또한, 전라남도에서 점검한 저수지의 3,206곳 중 245곳이 수준 미달인 D급으로 판정되어 내구성 및 안전에 상당한 문제가 있는 것으로 나타났다.

이러한 노후화된 저수지의 보강 공법으로 그라우팅공법이 주로 사용 되고 있다.

따라서 이와 같은 문제점과 제약으로 인해 지반 강도 및 차수 등의 증대를 위한 새로운 그라우팅 공법이 필요하며, 이는 농업 저수지등 토목공사의 안전한 시공뿐만 아니라 주변 지반의 붕괴, 침하 및 부등침하 또는 인접한 구조물의 균열을 사전에 방지하기 위한 그라우팅공법이 필요한 실정이다.

이번 연구에 사용되는 섬유는 주기적으로 선형 사슬이 존재하는 것에 따라 아미드기 분자간의 수소결합을 형성하여 결정화도를 증가시켜 고강도 고탄성률을 지니게 되고 아미드기의 분자간의 결합이 벤젠고리의 파라(para)위치에 결합한 파라 아라미드(p-Aramid)를 배합하여 고강도 고탄성률을 지닌 그라우팅 소재를 개발하고자 한다.

본 연구에서는 그라우팅의 기본 실험인 실내실험의 geltime 시험을 실시하였고, 아라미드 섬유를 첨가한 그라우팅의 특성에 맞게 투수시험과 내구성 확인을 위해 호모겔 일축압축강도를 측정하였다. 또한 유제처리량에 따른 유동성 및 섬유의 분산성에 대한 검토를 하고자 물 : 규산소다 3호의 양은 70 : 30 으로 고정하고, 기존주입제인 시멘트와 물 비인 W/C는 200%로 고정하여 실험을 실시하였다. 아라미드 섬유의 혼입률을 0%, 0.5%, 1%, 1.5%로 증가시켜 첨가하였고, 표면의 유제처리 비율을 0.7%와 1.2%로 호모겔 공시체를 성형하여 실내 실험을 실행하여 기존 공법인 LW공법과 비교 실험을 실시하였다.

1.2 연구 동향

1.2.1 그라우팅 연구동향

약액주입을 이용한 연약지반의 보강공법 시초 사례로는 1802년 프랑스 기술자 C. Berigny이 손상된 수문을 점토와 석회를 배합한 불완전한 주입재로 수문 기초 하부에 공동 채움과 주변 충적층에 대하여 보강하였는데, 이게 약액주입에 의한 지반 보강의 시초이다. C. Berigny는 최초로 약액주입의 개념을 기술적인 ‘procedure of grouting’으로 정립하는데 이바지하였다(Kutzner, 1996).

1900년대 벨기에의 L. Dumont에 의해서 1 shot 시스템의 그라우팅이 개발되었으며, 1925년에 독일의 H. Joosten에 의해 2 shot 시스템의 염화칼슘(CaCl_2)과 물유리용액($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$)과 각각 주입하는 화학적 주입재인 순수용액형 주입재를 이용한 자갈 및 모래층의 Joosten-system이 개발되었다. 그 후 점차적으로 그라우팅에 필요한 펌프와 같이 장비의 발전으로 그라우팅 기술의 향상이 되었다. 또한, 주입재로서 시멘트 입자 크기의 중요성도 연구되었으며, 주입재료 관리, 투수성, 주입압 확인을 위한 시험방법 등의 발전이 있었다.

1930년대부터 독일의 지하철도 건설에 적용되었으며, 지반의 특성을 고려한 주입법위, 주입압, 침투가능성 등에 대한 주입재료의 개발과 경험적 이론의 발전 등이 지속적으로 이루어져 왔다. 또한 세계 2차 대전 후 재건설 및 도시복구에 위와 같은 화학적 주입재에 의해 보강이 광범위하게 사용되었다.

1980년 초부터 시멘트그라우트 주입재의 재료적 발전이 이루어졌으며 마이크로 시멘트의 습식 마이크로시멘트를 현장에서 제조하여 SGR 공법의 재료로 사용되었다. 이는 시멘트주입재의 적용 범위가 확대되었으며, 주입특성을 개선하기 위한 각종의 혼화재료 또한 연구되어지고 발전되고 있다.

2000년대 이후에는 IT기술과 그라우팅 기술을 접목시킨 실시간 모니터링을 통하여 시공관리가 수행되었고 경험 및 자료 축적을 바탕으로 암반 그라우팅에 대한 경험적인 이론의 발전이 지속적으로 이루어졌다. 세계적으로 무공해 붐이 불면서 친환경 약액이 개발되었다. 특히 시멘트 그라우팅에 암을 유발물질인 6가크롬(Cr^{6+})이 보고된 후 각 국가에서 이를 규제하는 법안이 발의되어 그라우팅을 시공하는데 많은 제약이 발생하였다. 이로 인해 화학적 주입재에 환경문제와 독성물질에 대한 무기질재료를 통

한 대처 방안 등 각종 주입제가 연구 개발되고 있다(김명준, 2016).

1960년대 국내에 최초로 농어촌공사에서 월댐의 서토부에 개보수 그라우팅이 시행되었으며, 이에 시멘트 밀크 그라우팅이 일부 적용되었으나, 국내에 적극적으로 활용된 것은 기초 처리를 위한 암반 그라우팅 이후 1970년대 서울 1호선 지하철 공사를 시작으로 1980년 일본에서 LW공법을 도입해서 서울 2호선 지하철 공사에 적용되었다.

1983년에는 서울 3호선 지하철에 마이크로 시멘트가 최초로 시행되었으며, 서울 3호선 일부와 4호선에는 SGR(Space Grouting Rocket System)공법으로 지하철에 적용되었다.

그 후, 고압 분사 주입공법은 JSP(Jumbo Special Pattern)공법이 S시멘트 회사의 사일로 기초보강공사에 적용 되어 이후 RJP(Rodin Jet Pile)공법, SIG(Super Injection Grouting)공법, Jet Grouting공법, CIP(Cast in Place Pile)공법 등 국내에 댐 및 지하공간 개발이나 항만시설, 제방건설에 그라우팅이 적극적으로 시행되었다.

이와 같이 그라우팅 기술은 약 200년 동안 지나오면서 계속 발전되어 왔으며, 표 1.1에서 와같이 기술적인 진전 및 신공법의 개발로 보조시공에서 하나의 공법으로 되었다. 또한, 안정성, 공사의 기간, 경제성 등을 좌우 하는 중요한 역할이 되었다.

표 1.1 그라우팅 기술의 연도별 개발 현황

연도	약약재의 개발	그라우팅 시공 기술 공법개발	사회정세
1802년	• 석회+점토		• 광산의 개발
1824년	• 포틀랜드시멘트		
1940년대	• 물유리+염류반응제 • 점토+시멘트	• Lugeon test 확립 • Joosren 공법	• 댐건설 융성기
1950년대	• 무기물유리(MI) • 고분자(AM-9) • 물유리+시멘트(LW)	• 롯데 주입공법 • LW 공법	• 산업의 고도성장기
1960년대	• 아크릴아미드 • 아크릴레이트염류 수지 등 유기물계	• 복합그라우팅 • 맨젯튜브 공법	• 석유화학의 발달로 신재료 활용증대
1970년대	• 유기계무기계순결물유리 • 중성물유리 • 실리카졸	• 이중관 더블팩커 공법 • 이중관 순결공법	• 복합, 한정, 강제주 입 • 샘플 오염 발생
1980년대	• 순결·완결 복합 물유리 그라우팅 • 현탁용액 복합 실리카졸 그라우트 • CO ₂ 를 이용한 기·액 반응그라우트	• 주입시스템자동화 • 삼추관식 고압분 사 그라우팅	• 무공해성 공법, 재 료 • 경제성, 자동화추구 • 약액의 내구성 향 상
1990년대	• 경제적인 초미립화 기술 • 실리카졸, 내구성 무공 해성 향상 • 고분자계 중 유일하게 우레탄이 무공해 주입재료 로 개발 • 무시멘트 주입재료 개발	• 항구그라우팅	• 그라우팅공법이 주 요공법으로 정착
2000년~ 현재	• 고강도, 고침투, 고내구 성 약액 • 친환경 약액 • 고분자 액액중 아크잉에 이트계 약액 개발 • Cr ⁶⁺ 적은 시멘트 제조 • 자가치료 주입재개발	• 자동관리 시스템 동적주입시스템 • 사공관 중시 주입 시스템	• 그라우팅 환경규제 법안 시행 • 시멘트 공사현장 보호 장비 및 대책 규정

1.2.2 섬유 보강 시멘트 연구 동향

토목 구조물에 섬유를 혼입하여 활용한 보강공법은 국내·외로 많은 연구가 이루어지고 있으며, 첨가제와 혼화제로 많은 연구가 진행되고 있다.

콘크리트는 압축강도가 크고 내화성과 내구성이 우수하며 경제성, 형태구성, 시공성의 편리함 등으로 인하여 건축 및 토목구조물에 가장 많이 사용되는 구조재료 중 하나이다. 그러나 콘크리트는 건조함에 따라 인장응력이 작용하여 건조 수축이 크고, 상대적으로 인장강도가 작으며, 취성파괴가 일어나는 단점을 가지고 있다(한국콘크리트학회, 2005).

하지만 합성 섬유의 경우 고강도, 고탄성률의 우수한 물리적 특성을 가지며, 이외에도 열안정성, 내약품성 내후성 등이 우수하여 산업용 섬유로 많이 사용되고 있다(Choi, 2002).

이러한 이유로 위의 콘크리트의 단점을 보완하기 위해 합성 섬유를 콘크리트에 배합하여 섬유 보강 콘크리트를 만들어 1960년대 이후로 유리 섬유 및 강섬유를 이용한 연구가 점차적으로 확장되었다(Shah, 1988).

콘크리트에 강섬유를 혼입하여 휨강도와 인장강도를 측정한 결과 휨강도는 20배가 인장강도는 2배가 증가한 것을 확인하였고, 또한 섬유의 배열 방향을 힘이 가해지는 수직방향과 수평 방향으로 변화하여 실험을 시행하였다. 그 결과, 실제 콘크리트 내 혼입된 섬유의 유효율을 0.8로 나타냈으며, 시멘트의 복합체의 탄성 계수를 upper, lower 조건으로 나누어 산출 가능한 개념을 제시하였다(Shah, 1971).

쏘일네일링 공법에 강섬유 보강 그라우팅을 활용하여 지반과 네일 간의 작용을 확인하기 위해 압축강도를 측정하고 현장 시공된 쏘일네일에 대해서 인장강도 실험을 실시하였다. 그 결과 섬유 보강 처리가 되지 않은 그라우팅 공법에 비해 압축강도와 인장강도, 전단강도가 각각 12.1%, 29.8%, 51.5%가 증가 하였으며, 현장시공 실험에서 또한 섬유가 보강 되지 않은 그라우팅에 비해 16%가 증가하는 것으로 나타났다(최민형, 2005).

섬유를 활용한 그라우팅에 적합한 점성을 가지는 섬유 혼입량을 알아보기 위해 PVA 섬유 배합비를 각각 1.3%, 12mm와 1.6%, 8mm로 배합하여 각 배합비별 점성과 인장강도를 측정한 결과 1.6%에 8mm가 더 낮은 점성과 인장성능 또한 우수하게 나왔다. 위 실험에서 섬유의 길이 보다 섬유의 양이 복합재료의 점성 및 인장 성능을 동시에 제어 하는데 더 효과적인 방법임을 확인인 되었으나, 1.3%또한 그라우팅 시공이 가능

한 점성을 만족하는 혼입량 임을 확인하였다(이방연, 2012).

이처럼 섬유를 보강한 복합재료는 내충격성능, 균열제어성능, 휨·인장성능, 전단성능, 압축성능 등 적용 범위가 넓고 구조물의 유지보수 보강 및 신축을 목적으로 활용한다.

섬유를 보강한 복합재료는 보강 섬유에 따라 콘크리트를 개선하는 원리이기 때문에 혼입되는 섬유의 고유 값인 인장강도와 탄성계수 등을 통해 특성이 향상되고 혼입율에 따라 균열 및 분산 능력과 변형특성에 미치는 영향이 다양하게 나타난다(Maalej et al., 2004).

일반적으로 국내에서는 폴리에틸렌 (Polyethylene, 이하 PE)섬유 및 폴리비닐알코올 (Polyvinyl alcohol, 이하 PVA)섬유와 강섬유가 주로 사용되고 있다. 특히, 고인성 또는 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 경우 PVA섬유 및 PE섬유를 주로 사용하고 있으며, 이는 섬유의 특성을 고려한 것으로 섬유와 시멘트 복합재료간의 계면가교작용에 의한 변형경화 특성을 보이기 때문이다 (Li V. C., 1993).

한편, 시멘트 복합재료의 보강용 소재산업에 있어서 단섬유 형태가 아닌 시트형태로 구조물의 내진보강 등에 적용 하고 있는 아라미드섬유는 국내기술에 의한 생산이 가능하고, 그 특성으로서 인장강도가 약 2,920 MPa로 PVA섬유 및 PE섬유에 비하여 우수하며, 단섬유로 제조시 섬유의 직경과 길이는 PE섬유와 매우 유사한 수준이다 (Fariborz Vossoughi et al., 2007).

위의 같이 아라미드섬유는 현재 주로 사용되는 섬유인 PVA 및 PE섬유에 비해 인장강도가 우수하며 국내생산이 가능한 장점을 가지고 있지만 토목구조물 활용이 미미한 실정이다. 그라우팅의 혼화제 또는 첨가제로 활용하여 그라우팅의 단점은 내구성을 보완하고 실사용 기간을 연장할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 섬유가 혼합되어 강도가 증진되면 동공과 저수지의 붕괴 및 파괴에 효과적으로 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

이를 연구함으로써 그라우팅의 단점을 보완해 그라우팅기술을 향상 시킬 수 있을 것이다.

1.3 연구 내용

본 연구에서는 아라미드섬유를 시멘트와 함께 배합하여 기존공법의 문제점을 개선하고 섬유 그라우팅에 특성인 내구성 및 차수성 확보, 용탈현상 최소화, 초기강도 확보하고 효과를 분석하기 위해 실내실험을 실행하여 섬유의 적정 배합비를 선정하고자한다.

실내실험은 그라우팅의 기본 실험인 getime과 일축압축강도 시험을 실시하였고 아라미드섬유를 첨가한 그라우팅의 특성을 확인하고자 투수시험과 내구성을 확인하고자 일축압축강도 실험을 실시하였다. 적정 배합비를 선정하고자 물 : 규산소다 3호의 양은 70 : 30 으로 고정하고 기존주입제인 시멘트와 물 비인 W/C는 200%로 고정하여 실험을 실시하였다. 아라미드 섬유의 혼입률을 0%, 0.5%, 1%, 1.5%로 달리하여 첨가하고 표면의 유제처리 비율을 0.7%와 1.2%로 호모겔 공시체를 성형하여 실내 실험을 실행하였다.

연구 목적을 달성하고자 실내실험 방법을 요약하면 다음과 같다.

- getime 측정 시험
 - 각 배합비별 getime을 비교하여 겔형성 특성 확인
- 일축압축강도 시험
 - 각 배합비별 일축압축강도를 비교하여 초기강도와 장기강도의 발현 특성 확인
- 투수시험
 - 각 배합비별 10분당 투수량을 비교하여 섬유 그라우팅의 차수성 확인

제 2 장 그라우팅 공법

2.1 그라우팅의 개요

그라우팅이란 주입재를 지반내에 압력을 이용하여 충전시켜 공동, 균열, 공극, 절리 등의 틈새를 채워 지반의 강도와 차수성을 증가시키기 위해 지반을 천공한 후 주입 펌프를 이용하여 그라우트재를 주입 고결시키는 과정을 말한다(Rawlings et al., 2000).

지반분야에서의 그라우팅공법의 적용목적은 지하수 수위저하유동 및 유동 억제, 지반 투수성 감소시키고 오염물질이나 지하수의 이동을 방지하고자 차단벽을 형성하면서 상부구조물에 대한 기초지반에 지지력을 증가시키는 것이다. 또한 굴착면의 안정성 확보를 위해 지반 강도를 증가시키고 밀도 증가에 의한 사질토 지반의 액상화를 방지하며 포장체나 상부구조의 침하 복원, 구조물하부의 지반 및 구조물 보강, 터널 등 구조물 굴착에 대한 안정성을 확보하고 구조물이나 주변시설물의 변위나 침하를 억제하면서 자연적, 인위적으로 형성된 공동에 대한 충전을 하는 것이다.

그라우팅에 사용하는 주입재는 지반강도와 차수를 병행하기 위해서는 시멘트계를 주로 사용한다. 약액을 주재료로 하는 경우 약액과 비약액으로 구분되며, 시멘트계의 경우 약액형, 현탁형, 모르타르형으로 구분된다.

그라우팅공법은 준비 및 설비가 간단하고 소규모이기 때문에 협소한 장소에서도 시공할 수 있으며, 진동이나 소음에 대한 영향이 적을 뿐만 아니라 공사기간이 짧은 장점이 있으나 공사비용이 비교적 비싸고 주로 응급대책 또는 보조공법으로 사용 됐다.

이로 인해 제한된 공간, 복잡한 지하매설물 등 여러 가지 악조건에서 주입공법을 성공적으로 사용하기 위해서는 공사규모, 지반조건, 현장 시공여건, 공사기간 등을 고려하여 최적의 공법을 채택하는 것이 중요하다.

2.1.1 그라우팅의 계획요소

그라우팅 기술은 이론적인 측면보다 실제 적용 경험으로부터 발전되어 왔다. 그라우팅은 지반내 토사층의 공극이나 암반에 발달한 간극에 대하여 주입재가 계획된 범위 내에 밀실하게 충전되고 경화된 주입재의 강도나 내구성이 유지되어야 하는 것이 기본

이다.

그라우팅의 결과는 지반의 종류 및 구성, 입도분포, 암반내 간극의 특성, 충전물 및 상재압, 간극수압 등 여러 요인에 의해 차이가 나며 또한 주입재료의 유동학적 특성에 따라 다르게 나타나므로 수학적, 역학적 이론을 통한 접근은 어려움이 있다. 따라서 경험적 이론 및 방법론을 토대로 한 계획이 일반적이다. 적절한 그라우팅이 이루어질 경우 각 요소별 거동특성을 개념적으로 도시하면 그림 2.1과 같다.

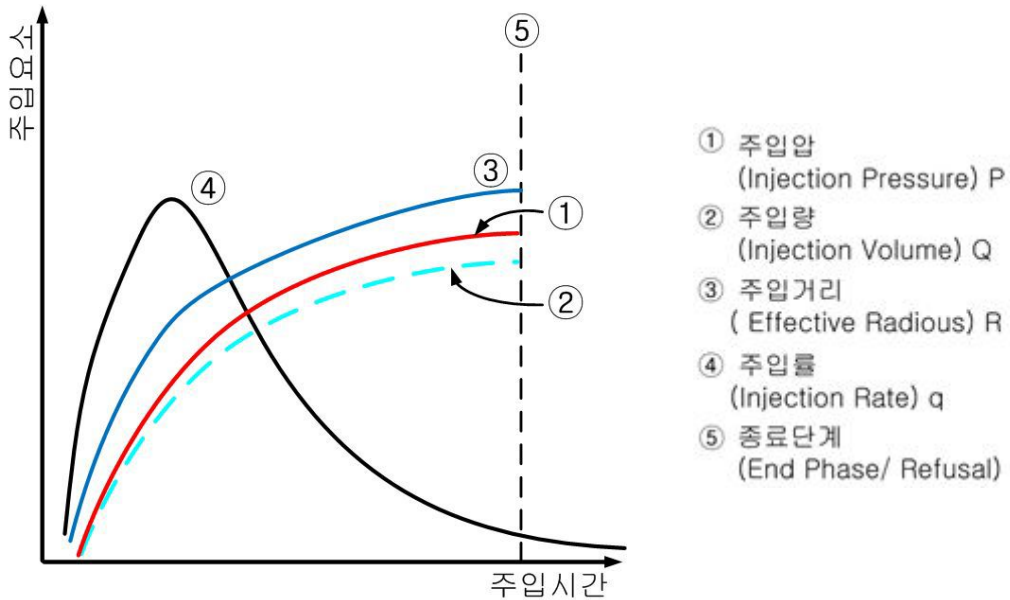


그림 2.1 그라우팅 주입요소별 거동특성(이응기, 2015)

그림 2.1에서 나타난 바와 같이 초기주입이 시행되면서 지반내 주입에 따라 공극 및 간극이 충전되고 이에 따라 단위시간당의 주입률 즉, 주입률이 감소하는 경향을 나타내고 주입공에 작용하는 압력은 커지게 된다.

또한 그라우트의 주입범위도 주입중단이 이루어지기 전까지 확산된다. 최종단계에서는 주입재의 역류방지, 주입재의 밀실화 등을 위해 어느 정도 압력을 유지한 상태에서 최소의 주입률 범위에서 주입을 지속시켜야 한다. 그림 2.1의 내용은 적절한 그라우팅 작업이 이루어졌을 때 나타나는 개념적 도시이며 실제적으로는 압력상승이 없거나 급

작스런 변동, 주입률의 감소가 없는 지속적 주입, 주입불가 등 여러 가지 현상이 나타난다. 이를 방지하기 위해서는 신뢰성 높은 그라우팅 계획, 주입특성에 적합한 재료선정, 현장관리 및 조치 등이 필요하다.

2.1.2 그라우팅 고결화 메카니즘

그림 2.2와 같이 주입약액은 초기에 저분자 용액이지만, 시간이 경과함에 따라 물유리와 중합되어 고분자화 되고 콜로이드가 커지게 된다. 콜로이드 또는 겔화가 진행되고 있는 물유리는 최초 흠입자의 여과작용에 의해 흠입자 사이에 점점 부근이 접촉하여 다시 흠입자 표면을 물유리 층이 덮게 된다. 처음에는 약액이 간극을 통과해서 침투범위를 넓혀 가지만 어떤 시점에서는 간극이 막히고 주입액이 지반에 침투하지 못하게 되면 주입이 완료된다. 이와 같이 흠입자의 접점을 중심으로 흠입자 표면을 덮은 규산겔은 1차 결합 또는 2차 결합으로 견고한 규산층으로 되어 흠입자 접점을 견고하게 고정하고, 연속된 막에 의해 흠입자를 연결한다.

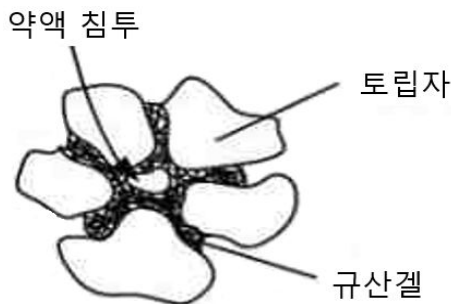


그림 2.2 흠입자 간극에서 약액의 침투와 규산겔에 의한 고결 모형도(한국지반공학회, 2005)

흠입자 상호간의 규산에 의한 접촉은 규산층에서 분자간의 응집력과 규산층과 흠입자 표면의 부착력으로 이루어진다. 이 가운데 규산층과 흠입자 표면의 부착은 사질토의 경우 수소결합 등에 의한 2차 결합으로 나타난다.

점토분이 많아짐에 따라 약액의 입자간 침투는 충분하지 않아 전체의 균질한 고결효과는 감소한다. 이와 같은 흠입자와 약액의 상호작용에 의해 약액주입 전 모래의 전단강도가 입자 상호간의 접촉이나 맞물림에 의한 마찰로 생긴 요소가 주된 것이었다.

그러나 약액주입 후 모래의 전단강도는 이 마찰로 인한 요소 이외에 규산층 흡 입자간의 고결로 인한 점착력의 요소가 추가됨을 확인하였다.

2.2 그라우팅 주입종류

2.2.1 그라우팅의 공정에 의한 분류

약액의 주입방식에는 geltime을 기준으로 20분 이상의 geltime일 때 쓰이게 되는 1액 1공정, 각각 다른 주입관을 나와 혼합되는 순간 겔화 할 경우의 2액 2공정, 그리고 geltime이 2~10분일 경우 사용하는 2액 1공정 등 일반적으로 세가지 주입방식이 있으며 그림 2.3과 같이 분류된다(천병식, 1998).

(1) 1액 1공정식

고결시간이 긴 약액의 주입방식으로서 1액 1공정식이 적용된다. 즉, 1액의 주입재를 1공정의 주입관에서 펌프로 압력을 가해서 주입한다. 주입재 믹서 안에서도 시간이 경과하면 경화반응을 시작하기 때문에 보통 현탁액형 주입재 또는 용액형 주입재에서도 20분 이상의 긴 고결시간이 확보될 수 있는 경우에 사용된다.

(2) 2액 1공정식

짧은 겔화 시간의 약액에는 2액 1공정식이 널리 사용되고 있다. 즉, A액과 B액을 각각 독립된 펌프로 압송해서, 주입관 상단의 Y자관에서 합류시킨 후 1공정의 주입관으로 주입하는 방식이다.

(3) 2액 2공정식

겔화 시간이 매우 짧은 순결성 약액이나 또는 순결성을 갖도록 배합된 약액의 주입은 2액 2공정식이 적용된다. 이 방식은 주입관이 2중으로 되어 있어서 내관에서는 A액을, 외관에서는 B액을 압송하여 주입관 선단에서 합류시키는 방식이다.

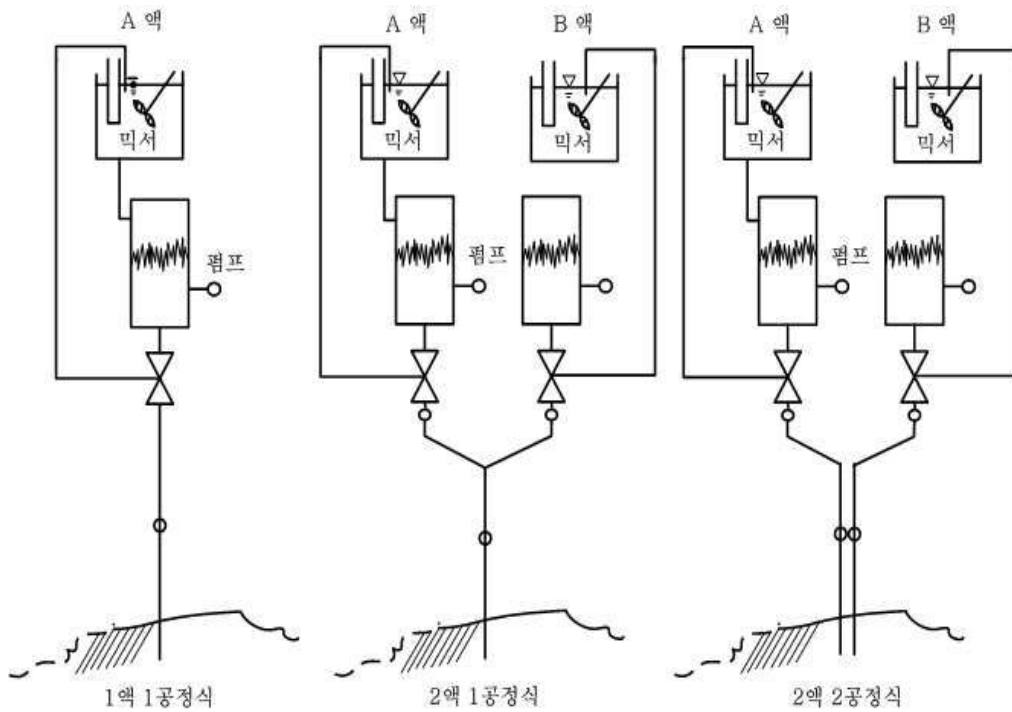


그림 2.3 혼합공정에 의한 주입방식의 분류(권지연, 2012)

2.2.2 그라우팅의 주입재에 의한 분류

주입재의 분류는 재료, 반응형식, 시공방식 등에 따라서 여러 가지로 분류가 가능하며 주입재의 종류에 따라서는 그림 2.4와 같이 분류하는 것이 일반적이다.

(1) 현탁액형 주입재

입자가 액체 중에 분산된 현탁액 상태로 있는 주입재를 말하며 시멘트나 벤토나이트 등을 사용하는 주입재가 대표적이다. 초미립자시멘트 주입재도 이 분류에 속한다. 초미립자시멘트인 현탁액형 주입재는 소성유동을 한다고 볼 수 있다.

현탁액형 주입재의 침투성은 약액 입자의 크기, 주입재의 안정성(입자의 침강, 응집 정도), 유동성(겔보기 점도, 진단강도), 지반의 공극률, 공극의 크기 등에 의해서 영향을 받는다. 현탁액형 주입재의 특징은 용액형 주입재와 비교해서 침투성이 떨어지는 단점이 있는 반면, 공해가 없고 고강도로서 내구성이 크며 경제성 등의 장점이 있다.

(2) 용액형 주입재

주입재 중 어느 부분에서나 균질한 상태를 유지하며 입자를 포함하지 않은 약액을 용액형 주입재라고 한다. 용액형 주입재의 레올로지 특성은 뉴턴유체에 가까운 유동특성을 가질 것으로 판단된다. 용액형의 침투성은 주입재의 유동성, geltime, 지반의 공극률, 공극의 크기 등에 따라서 영향을 받는다. 용액형주입재 중에서 물유리계 약액 이외에는 주입 후 지하수를 오염시킬 가능성이 크기 때문에 사용 전에 충분한 검토가 필요하다.

한편, 용액형 주입재의 대부분을 차지하고 있는 물유리계 약액은 시멘트계 현탁액형 주입재에 비해서 침투성이 우수하지만, 강도가 약하고 내구성이 떨어지는 결점을 갖고 있기 때문에 시멘트계 현탁액형과 조합하여 반현탁액형 주입재로 사용하는 것이 일반적이다.

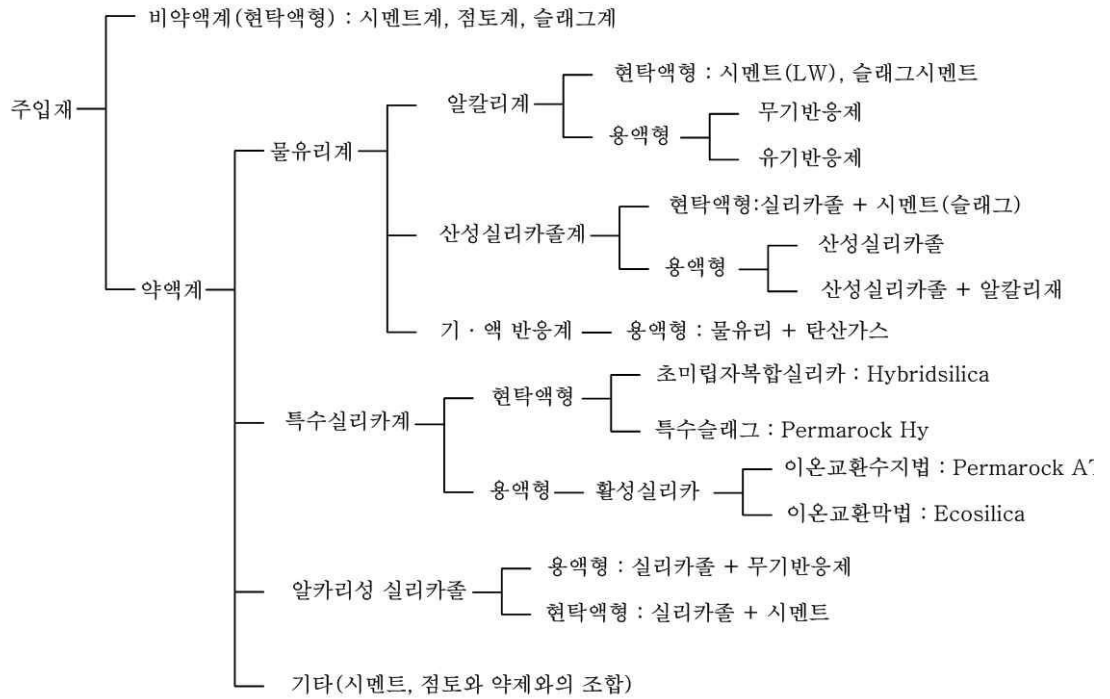


그림 2.4 그라우팅 주입제에 의한 분류(권지연, 2012)

2.2.3 그라우팅의 주입방법에 의한 분류

그라우팅은 주입방법론, 주입기구(mechanism)에 따라 그림 2.5과 같이 분류할 수 있다.

1) 침투 그라우팅(permeation grouting: flow into existing pores)

지반내 공극 및 간극을 구조적 교란 없이 침투 충전시키는 그라우팅방법으로서 주로 지반의 투수성 감소 목적으로 사용되나 강도증대효과도 기대할 수 있다. 본 연구에서 사용하는 공법은 침투 그라우팅 공법이다.

2) 파쇄 그라우팅(hydrofracture grouting: intrusion/splitting/compensation)

주입압에 의해 지반을 균열, 파쇄 시키며 주입재를 충전하는 방법으로 할렬 그라우팅이라고도 한다. 공극이나 간극이 미세하여 일반적 침투가 불가능할 때 적용하며 지반 내 밀도 및 강성증대와 상부구조를 가압 상승시키는 효과를 기대할 수 있다.

3) 콤팩션 그라우팅(compaction grouting: displacement)

주입재의 침투나 압입충전이 아닌 고점성의 저유동성재료를 Bulb 형태로 지반내 압입시켜 강성체 구조를 형성하고 주변지반을 밀어내어 밀도를 증대시키는 효과를 기대할 수 있다.

4) 고압분사 그라우팅(jet grouting: partial replacement/erosion)

고압의 분사체를 이용하여 지반을 교란, 절삭시키고 시멘트 주입재에 의한 교반 혼합을 이용한 방법으로써 지반내에 고결체를 형성하여 지반강도를 증대시키거나 파일형태로 상부하중을 지지하는 역할을 할 수 있다.

5) 할렬주입 그라우팅(fracture grouting)

점토 지반에 예측이 불가능한 형태로 주입이 된다. 이는 지반을 교란시키는 주입 형태로 나타나는데 시멘트 페이스트를 연속하여 주입하면 연약지반에 할렬을 일으키며 주입재가 예측이 불가능한 범위와 형태로 주입되는 부작용을 가지고 있는 주입 방법이다. 이러한 단점을 보완하기 위해 급결(5초~6초)주입을 20초~30초의 간격을 두고 반복시공 함으로써 최근에는 이를 활용하여 주입하는 방식도 이루어지고 있다.

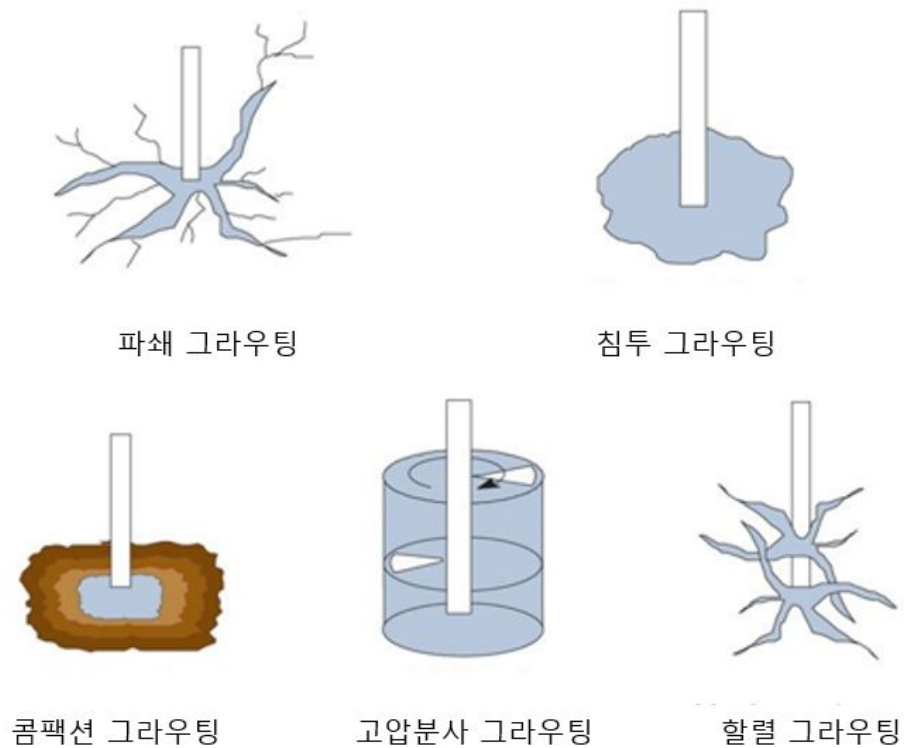


그림 2.5 그라우팅 주입방법의 분류(권지연, 2012)

2.3 침투그라우팅

침투 그라우팅은 기계적으로 흙과 고화재를 혼합교반하거나 증기를 사용하여 흙을 다지는 다른 지반개량과는 크게 다르며, 원 지반이 가지고 있는 토립자 사이의 맞물림을 그대로 이용하는 특징을 가지고 있다. 침투 그라우팅은 주로 차수목적 또는 비점성토의 강도 증가 목적으로 사용되어왔다.

침투 그라우팅의 공정은 그라우트 재료의 혼합, 주입 파이프로의 펌핑 및 슬리브관을 통한 주입으로 구성된다. 현장에서 그라우트 혼합이 필요한 경우 연속적인 계량 공정을 사용하지만 배치 공정으로도 혼합할 수 있다.

그라우트는 드릴 로드나 증공 오거 또는 지중에 설치된 파이프를 통하여 주입된다. 파이프를 사용할 경우는 흙이 막히는 것을 방지하는 것이 무엇보다 중요하다. 슬리브 파이프는 고무로 된 슬리브가 구멍을 뚫고 있으며 일정한 간격의 배기구가 있다. 고무

슬리브는 흙이 파이프 안으로 침입하는 것을 방지하지만 허용 압력 하에서 팽창한다. 슬리브 파이프는 시추공에 위치하고 그라우트를 실시하여 시추공과 밀착시키고 수압시험이나 그라우팅이 진행되는 동안 패커를 사용한다.

패커는 주입대상구간을 몇 개로 나누어 주입재가 나누어진 구간에만 들어가도록 하며 수압시험의 경우에도 시험구간에만 주수되도록 하는 장치이다. 또한 시추공 상부의 각종 조절장치를 단단하게 고정시키는 역할도 한다. 이는 기본적으로 붕괴된 지층이나 팽창된 지층에도 자유롭게 설치할 수 있어야 하고 주입압력이 가해지더라도 움직이지 않고 고정될 수 있어야 하며 확실하게 막음이 되어야 한다.

그라우트 주입과정은 그라우트의 고결이나 경화시간, 주입비와 주입압에 따라 조정된다. 그라우트의 부피 측정과 그라우트의 경화시간 및 혼합비율을 조정하기 위해서 계측기가 필요하며 상당한 정확성과 정밀성을 가지고 있어야 한다.

침투그라우트는 흙이나 암석 매트릭스의 간극을 침투할 수 있을 정도로 상당히 낮은 점성력을 가지고 있으며 매트릭스의 수압 할렬과 지표면의 용기를 방지하려면 상대적으로 낮은 주입압이 요구된다.

그라우트 배합은 흙의 투수성이나 간극의 크기에 기초하며 1~2%이하의 세립토(No.200체에 걸린 시료)를 함유한 흙이 그라우트가 용이하다. 또한 2~20%의 세립토를 함유한 흙은 보통정도의 그라우트가 가능하며, 20~25%의 세립토를 함유한 흙은 최소한의 그라우트가 가능하다. 그라우트를 제어하는 가장 큰 요소는 간극의 크기의 분포 및 그라우트의 점성이다. 작은 점성에 낮은 강도를 갖는 그라우트는 좀 더 큰 점성과 큰 강도의 그라우트보다 작은 간극의 흙에 스며든다. 세립함유량이 5~15%를 초과하는 흙의 경우 그라우트 가능성을 평가하기 위해서는 미리 현장에서 예비시험을 실시하는 것이 유리하다.

침투그라우트는 일반적으로 재료의 구성요소에 따라 약액주입공법과 시멘트계 주입공법으로 나누어진다. 약액주입은 조립재를 안정화시키고 미세한 균열의 암석이나 콘크리트를 보수하기 위해 사용되며 강도를 증가시키거나 물의 침투를 저지하는 것이다. 모래질 흙에서 약액주입은 비점성의 흙을 점성으로 바꾸거나 거의 불투수성 물질로 바꾼다. 또한 흙이나 암반의 간극을 채워 지반특성을 변화시키므로 주입공정으로 인하여 토립자들이 크게 변형되지 않도록 주입율과 고결시간을 조정해야 하며, 적절한 주입은 투수성의 감소와 함께 전단력이나 압축강도를 증가시킨다.

일반적으로 사용되는 약액은 물유리계 용액이 대부분으로서 차수 목적의 경우에는 물유리만으로 가능하나, 지반강도증대 목적의 경우에는 시멘트를 병행하여 사용한다.

첨가제에는 우레아제, 폴리우레탄 및 에폭시 등이 있으며 기초성분으로는 규산나트륨이 가장 많이 사용되고 있다.

약액주입은 적용가능 범위가 광범위 하여 강도변화, 주입 시 물에서 진한 기름에 이르는 점성의 변화, 0~무한대까지 변화할 수 있는 산, 염기 및 유기질의 안정성, 매우 낮은 값에서 극한치에 이르는 점착력의 변화, 양생에 대한 물의 영향 및 다양한 물리적 특성들과 같은 장점을 갖고 있다.

반면에 시멘트 주입은 시멘트와 물 그리고 점토, 벤토나이트, 규산나트륨, 분산제, 지연제와 경화촉진제 등을 포함한다. 대부분의 시멘트 그라우팅은 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하며 고로 슬래그와 미립의 분쇄 시멘트를 사용한다(천병식, 2005).

2.4 그라우팅에 영향을 미치는 요소

(1) 물-시멘트비(w/c)의 영향

그라우트의 물-시멘트비는 시멘트 무게에 대한 물의 질량비(w/c)로 표시 한다. 일반적으로 그라우트 주입제는 주입에 따른 침투용이성을 확보하기 위하여 물-시멘트 비를 200%가까이 크게 한다. 이는 투입되는 시멘트의 양을 소량으로 배합하는 결과(빈 배합)를 초래하여 혼합되는 그라우트는 화학적 불안정성을 갖는다. 빈배합의 그라우트제는 응결시의 수축량이 상대적으로 부배합인 일반 콘크리트보다 더 크게 나타난다. 그림 2.6는 응결시 조인트 내에서 콘크리트가 고결되어가는 진행상황을 개념화한 것이다. 상대적으로 부배합 된 콘크리트는 고결 진행률이 매우 균일한 것을 알 수 있으나 물-시멘트비(w/c)가 큰 빈배합 그라우트 주입제는 고결 진행률이 불규칙할 뿐만 아니라 재료분리가 발생하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 재료분리와 이로 인한 품질 저하는 일정량의 혼화재 및 첨가제 등을 혼합하여 극복한다(이강호, 2009).

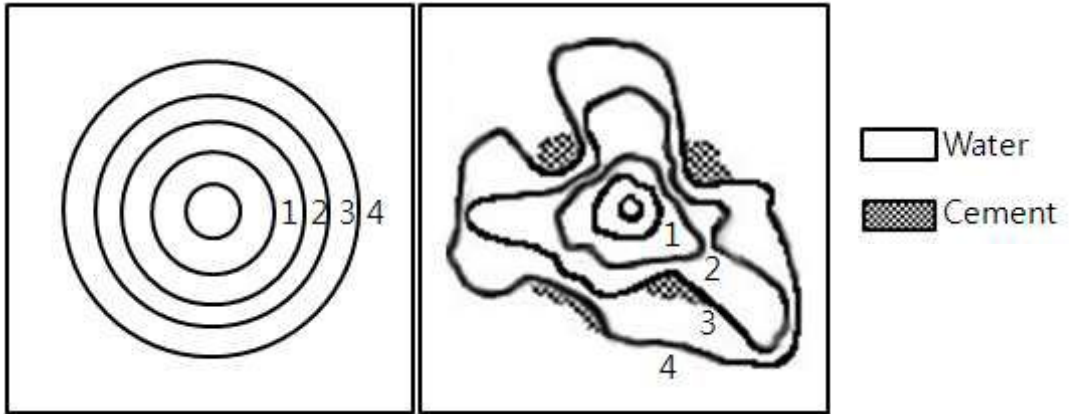


그림 2.6 그라우트 재료에 대한 고결진행시험

(2) 물-시멘트비(w/c)가 큰 그라우트 주입재의 기술적 장점

① 상대적으로 물-시멘트비(w/c)가 큰 그라우트 주입재는 점착력과 점성이 감소되어 암반 내 불연속면에 대한 침투가 용이하게 된다.

② 물-시멘트비(w/c)가 큰 그라우트 주입재는 시멘트 입자들끼리의 마찰저항을 감소시켜 주어 불연속면 벽에 대한 상대마찰 저항을 줄여준다. 따라서 주입시 예상치 못하게 발생하는 급작스런 주입불량 즉, 막힘 등의 현상을 줄여준다.

③ 물-시멘트비(w/c)가 큰 그라우트 주입재는 주입내에 혼합된 풍부한 물이 건조한 암반 불연속면벽을 적셔줌으로 물의 손실보상이 가능하다. 이는 주입재의 상대적 침투 효율을 증가시켜 준다.

④ 물-시멘트비(w/c)가 큰 그라우트 주입재는 기존 조인트 등 기존 암반 내 발달된 불연속면을 벌리는 역할을 수행함으로써 균열면 내 주입재의 침투가 용이하도록 한다. 그러나 이와 같은 역할이 미세 균열에서 가능할 것이며 기존 암반내 침투되어 있는 물이나 포화도, 균열면의 폭 및 길이, 암반의 강성 등에 따라 그 기능이 제한 수 있다(이강호, 2009).

(3) 주입속도의 영향

그라우트 주입재의 강도와 내구성은 물-시멘트비(w/c)가 증가됨에 따라 급격히 줄어

드는 것으로 알려져 있다. 따라서 적정 내구성과 강도 및 침투성을 확보하기 위하여 이에 대응하는 물-시멘트비를 결정하는 것이 매우 중요하다(이강호, 2009).

2.4.1 그라우팅 침투이론식

주입에 있어서 침투이론은 그라우트의 응결시간, 점성, 주입압력, 주입속도, 주입시간, 주입공의 유효경, 주입방식, 지반의 투수계수 및 간극율 등과 상관관계가 있다. 더욱이 실제 지반의 불균질성 및 지하수의 유동과 고결되면서 수반되는 약액의 복잡한 침투기구 등과 관련이 있다. 그러므로 약액의 침투를 정확하게 수식화 하는 것은 어려운 일이며 지반의 불균질성을 감안한다면 오히려 무의미하다고 생각할 수 있으나, 침투성에 관한 경험식들은 많은 연구자들에 의해 제안되고 있다(천병식, 1999).

이러한 침투이론식들은 일반적으로 다음과 같은 가정을 전제로 존재하는데 첫 번째 주입재의 침투는 층류로써 Darcy의 법칙을 따르고 두 번째 주입재의 비중은 물과 큰 차이가 없으며, 중력은 무시할 수 있고 세 번째 주입재의 점성은 일정 변하지 않는다.

네 번째 지반의 균질하게 무한히 계속되며, 구속하는 것은 없고 마지막으로 지반은 물로 포화되어 있고 지하수의 유동은 없다.

대표적인 침투이론에는 Maag, Karol, Raffle & Greenwood 등의 식들이 있으며, 유효 주입범위나 필요한 geltime을 구하는 방법으로서 Magg, Karol의 두 식이 많이 쓰이고 있다.

(1)Maag의 이론

Maag은 압력, 단위중량, 그라우트의 점성, 주입률, 지반의 투수계수 그리고 흐름의 기하학에 따른 총적토의 주입에 대한 첫 이론을 제안했다.

Maag의 식은 다음과 같다.

$$t = \frac{r_1^3 \times \mu_g \times n}{3k \times h_1 \times r_0} \quad (2.1)$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{3kh_1tr_0}{\mu_g n}} \quad (2.2)$$

그러나 Maag의 침투 이론식에 의한 예측결과와 실내 및 현장실험으로 구한 침투범위는 상당한 차이를 보이는 것으로 알려져 있다. 따라서, gelpime과 간극 충전율 및 주입관의 형식 등 주입특성을 고려할 수 있는 Maag이론의 문제점을 보완하여 용액형 그라우트에 적용 가능한 Maag수정식을 제안하였다.

Maag수정식은 다음과 같다.

$$\sqrt[3]{\frac{3A C k h \alpha'}{a n \beta}} t_r \quad (2.3)$$

$$t = \frac{a n \beta}{3A k h r_0} (r^3 - r_0^3) \quad (2.4)$$

여기서,

- | | |
|----------------------------|---------------------|
| t : 침투시간 (sec) | α : 간극충진율 |
| n : 간극율 | k : 침투계수 (cm/sec) |
| h : 수두(주입압) (cm) | r : 침투반경 (cm) |
| β : 그라우트 동점성 계수 | r_0 : 주입공반경 (cm) |
| α' : 실제 침투원 반경 (cm) | A : 유효 주입공경 계수 |
| C : gelpime 침투시간 계수 | |

(2)Karol의 이론(Karol, 1960)

Karol의 식은 용액형과 현탁액형 두 가지로 나눌 수 있다.

1) 용액형 약액의 침투거리

Karol은 용액형 약액의 침투거리를 반경 R(cm)로서 다음과 같이 나타내었다.

$$R = 2\pi \sqrt[3]{\frac{Qt}{\mu n}} \quad (2.5)$$

여기서, Q : 단위주입량 (cm^3/sec)
 t : 주입소요시간 (sec)
 μ : 약액에 대한 물의 비점도
 n : 흡의 간극율

2) 현탁액형 약액의 침투거리

현탁액형 약액의 침투거리를 반경 $R(\text{cm})$ 로서 다음과 같이 나타내었다.

$$R = \frac{\gamma_w g h \gamma_e}{2S} + \gamma \quad (2.6)$$

여기서, γ_w : 물의 단위체적중량 (g/cm^3) r_e : 공극의 등치반경(cm)
 g : 중력가속도 (cm/sec^2) γ : 주입공의 반경(cm)
 h : 수두(주입압)(cm) S : 약액의 고결강도(dyne/cm^2)

2.4.2 침투한계 주입비

(1) 주입재 및 토립자 직경에 의한 침투성 분석

주입재가 쉽게 침투하기 위해서는 주입재 입자가 토립자 사이 또는 균열 공극을 무리 없이 통과할 수 있을 정도로 입자가 충분히 작아야 하며, Kravetz는 주입재 및 침투 가능한 토립자에 대한 침투성 시험 결과, 다음 식과 같이 주입비 관계식을 보고한 바 있다.

$$N_1 \frac{D_{16}}{D'_{85}} > 15 \quad \text{또는} \quad N_2 \frac{D_{10}}{D'_{95}} > 8 \quad (2.7)$$

여기서, N_1, N_2 : 주입비
 D'_{85}, D'_{95} : 주입재 입경가적곡선의 85%, 95% 입경
 D_{15}, D_{85} : 토립자 입경가적곡선의 15%, 85% 입경

시멘트계 주입재의 최대 입경을 보통시멘트 $100\mu\text{m}$, 콜로이드시멘트 $20\mu\text{m}$, 초미립자시멘트 $10\mu\text{m}$ 수준으로 가정하면 주입이 가능한 암반균열의 최저 폭은 각각 $300\mu\text{m}$, $60\mu\text{m}$, $30\mu\text{m}$ 수준이 된다.

토립자 입경의 크기를 매년 측정하는 것은 매우 번거롭고 시공대상 토질의 대표성을 확보하기 어려운 경우가 많기 때문에 실용적인 측면에서는 King 등에 의해서 제안된 도표를 이용해서 사용되는 주입재의 침투한계 토질을 선정하는 것이 편리하다.

Kravetz의 주입비인 식 2.7의 관계를 만족하면 주입재가 토립자 공극을 무리 없이 침투주입 될 수 있다고 판단할 수 있다. 즉, 그림 2.7에서 초미립자 시멘트를 사용하는 경우 식 (2.7)의 관계를 만족하는 토립자의 최소 입경은 $50\sim 150\mu\text{m}$ 정도로, 화학약액에 필적하는 침투성 영역에 위치하고 있다. 반면, 보통시멘트를 사용하는 경우는 식 2.7의 관계를 만족하기 위해서 토립자의 최소입경이 $500\sim 1,200\mu\text{m}$ 정도로 토립자 입경이 약 10배 정도 커야 한다는 것을 알 수 있다(Kravetz, 1958).

따라서, 주입대상 토질이 가는 모래나 실트질 모래로 구성되어 있는 경우 공극률은 지만, 유효 공극경의 크기가 작기 때문에 주입재의 입자가 큰 보통시멘트는 침투주입

이 어렵고 주입재의 입자가 충분히 작은 초미립자 시멘트를 사용하면 가능하다는 것을 의미한다(김혜양, 2011).

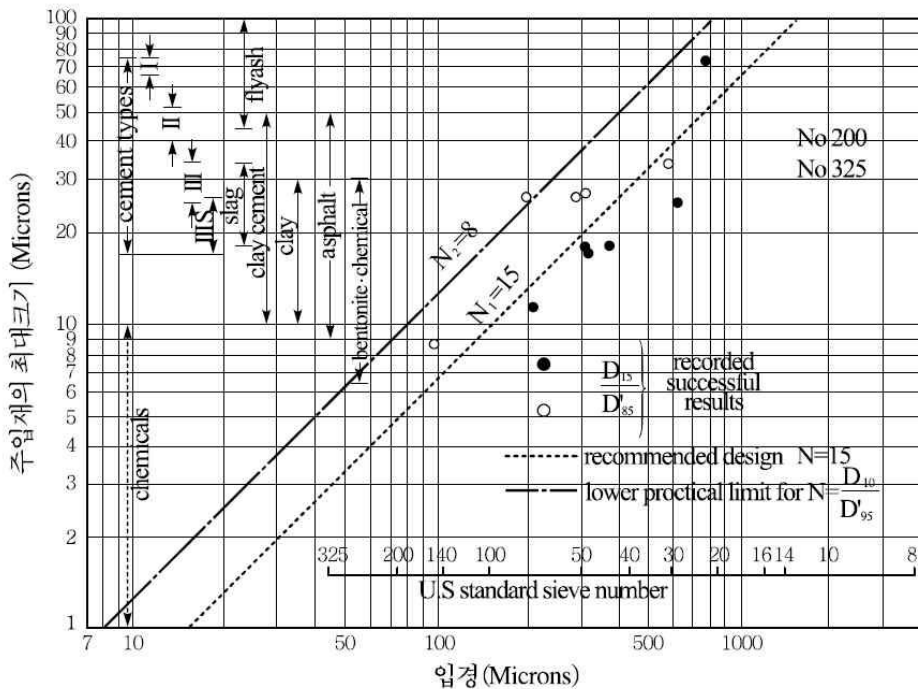


그림 2.7 토립자 입경과 주입재 입경에 의한 침투한계 분석도(King et al., 1961)

(2) 주입재 직경 및 토립자 공극경에 의한 침투성 분석

King 등은 일반적인 사질지반의 흙을 대상으로 토립자 공극경 d 와 토립자 유효입경 D 와의 관계에 대해서 그림 2.8과 같은 관계를 제안하였다. 즉, 주입대상 토질의 평균입경과 동일한 유효입경이 D 인 이상적인 구형(球型) 토립자를 가정하고 이와 같은 토립자의 평균 입경으로 형성된 토립자들의 공극률을 n 이라고 가정하면, 이에 대응하는 토립자 공극경 d 와의 관계는 가장 조밀하게 다져진 상태에서의 공극률 $n=26\%$ 일 경우는 $d=0.15D$ 이고, 가장 느슨하게 다졌을 때의 공극률 $n=48\%$ 에 대해서는 $d=0.41D$ 임을 보였다(King 등, 1961).

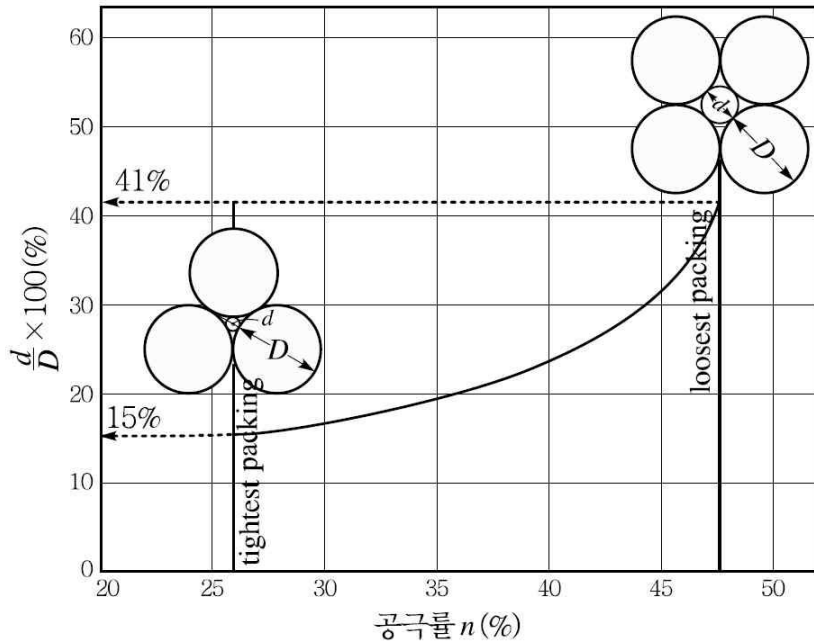


그림 2.8 $d/D(\%)$ 의 공극률 n 과의 관계(도전준, 1977)

2.4.3 그라우트량 계산

그라우팅량의 계산은 그라우팅 목적에 접합한 그라우팅의 종류, 개량 대상토층의 지반조건이나 펌프압송방식 등 경제적인 면과 기술적인 면을 고려하여 계획할 필요가 있다. 일반적으로 그라우팅량을 구하는 기본식은 개량 대상토량(V)에 그라우팅률(λ)을 곱한 식 (2.8)과 같다(양형칠 등, 2012).

$$Q = V\lambda = Vn\alpha(1 + \beta) \quad (2.8)$$

여기서, Q : 개량 대상 지반에 대한 그라우트량($1\text{m}^3 = 1,000\ell$)

V : 개량 대상 지반의 체적(m^3)

n : 간극률

λ : 그라우팅률

β : 손실계수

α : 충전율

식 (2.8)에 의한 그라우팅량의 산정은 입자간 침투 그라우팅을 전제로 한 것이며, 맥상 그라우팅과 같은 경우에는 적용하기 어렵다. 따라서 맥상 그라우팅 형태에서는 현재 계산방식이 확립된 것이 없기 때문에 경험적으로 맥상 그라우팅의 경우에도 식 (2.8)을 적용하고 있다.

(1) 간극률

보통 지반의 간극은 일반적으로 물과 공기로 점유되어 있는 부분을 나타내고 있다. 그러나 공기는 미미하기 때문에 일반적으로 간극수에 대해서만 고려한다. 간극수는 자유수와 흡착수로 이루어져 있다. 이 중에서 자유수는 중력수라고도 말하고, 각종 배수 공법을 실시하는 것에 따라 배제할 수 있는 물이다. 한편 흡착수는 보통 수행하는 배수공법 등을 사용해도 배제할 수 없는 물을 말한다. 그라우팅량의 검토에서 간극률은 그라우팅에 의해 주입재로 바꿀 수 있는 자유수가 차지하는 체적을 대상으로 하며, 이것을 유효 간극률이라고 한다.

간극률은 토질조사에 의해 실측하는 것이 바람직하지만, 실측이 곤란한 경우에는 경험적으로 유사지반에서의 시공경험으로부터 결정할 수 있다.

(2) 충전율

충전율은 개량 범위 내에 있어서 소정의 그라우팅 효과를 얻기 위해서 필요한 것으로 지반의 간극에 대한 충전 비율을 나타낸다. 이 값은 개량 대상 지반의 토질성상, 그라우팅의 침투성, 그라우팅의 형태 등에 의해 달라진다.

(3) 손실계수

실제 그라우팅에 있어서 계획된 개량 범위 내에 소정의 그라우팅 효과를 얻기 위해서는 계획된 개량범위 외에까지 약액이 미치는 것은 피할 수 없으며, 이러한 상태는 시공상의 안전율로 그라우팅률을 결정할 때 고려할 필요가 있다. 이 값은 개량 대상의 중요도, 개량효과의 기대도 등에서 결정되어야 하는 것이지만, 현재는 이 계수에 대한 이론적인 뒷받침이 되어있지 않고, 경험적으로 손실계수(β)는 0.1 정도가 사용되고 있

는 경우가 많다. 그라우팅량의 산출에 관한 참고자료는 표 2.1과 같다.

표 2.1 토질에 의한 그라우트의 충전율, 그라우팅률의 참고치(양형철 등, 2012)

토질	항목	N	투수계수 (cm/s)	n(%)	그라우트 종별	충진율 (%)		그라우팅률(%)		비고
						보강	차수	보강	차수	
자갈 모래	부르다	4~10	10 ¹	40~50	현탁액계	95	100	43~48	45~50	
					용액계	-	100	-	45~50	
	중정도	10~30	10 ⁰	35~40	현탁액계	95		33~38	-	
					용액계	90	100	31~36	35~40	
	조밀	30~50	10 ⁻¹	30~35	현탁액계	90	-	27~31	-	
					용액계	90	95	27~31	28~33	
사질 토	부르다	4~10	10 ⁻²	45~50	용액계	90~95	40.5~47.5		$\alpha \cdot (1+\beta)$: 충전율 $n \cdot \alpha(1+\beta)$: 그라우팅률	
	중정도	10~30	10 ⁻² ~ 10 ⁻³	40~45	용액계	90~92	36.0~41.4			
	조밀	30~50	10 ⁻³ ~ 10 ⁻⁴	35~40	용액계	80~85	28.0~34.0			
점성 토	부르다	0~4	10 ⁻⁴ ~ 10 ⁻⁵	60~75	현탁액계	40	-	24~30	-	
					용액계	45	-	27~34	-	
	중정도	4~8	10 ⁻⁴ ~ 10 ⁻⁵	50~60	현탁액계	30	-	15~18	-	
					용액계	30	-	15~18	-	
부식토	0~5	10 ⁻² ~ 10 ⁻³	70~90	현탁액계	60		42~54			
				용액계	-	100	-	70~90		

<주> 1. 토질조사 결과 N치, 투수계수 간극률이 표와 다를 때는 간극률을 우선한다.

2. 간극률이 분명하지 않을 때는 N치로 추정한다.

3. 손실계수 β 는 0.1로 한 값이다.

4. 그라우팅목적의 중요도로 충전율을 고려한다.

2.4.4 그라우트 주입재의 특성

(1) 보통 포틀랜드 시멘트

한국 산업표준규격(Korean industrial standards) KS L 5201에 의하여 포틀랜드 시멘트(Ordinary portland cement, OPC)는 5가지 종류로 구분되며, 특징은 표 2.2와 같다.

제 1종은 OPC로 재료값이 상대적으로 저렴하여 그라우팅 재료로 가장 많이 사용되고 있지만, 다른 OPC에 비해 상대적으로 내화학성이 떨어지는 단점이 있고 제 2종의 경우는 보통정도의 황산염이온으로 만들어졌으며, 제 1종에 비해 수화열 발생이 적다. 제 3종은 조강시멘트로 약 2주 이내에 강도가 발현되어야 하는 긴급한 그라우팅에 사용되며 OPC에 비해 입경이 작기 때문에 미세한 간극의 주입재료로 사용되기도 한다. 이 종류의 시멘트의 분말도는 약 $3,300\text{cm}^2/\text{g}$ 이상으로 다른 종류의 시멘트에 비해 세립분이므로 상대적인 응결속도는 빨라 조기강도가 발현된다. 그러나 강도 실현이 빠른 반면에 다른 종류의 시멘트에 비해 강도가 상대적으로 낮은 단점이 있다. 제 4종은 제 2종에 비해 수화열이 적고 제 1종에 비해 강도발현이 늦지만, 일반적으로 수화열이 낮아야 하는 주입에 이용된다. 제 5종은 황산염이 많은 토사나 지하수가 있을 때 이용되며 강력한 내황산염 그라우트 재료이다. 이 종류의 시멘트 최대입경은 $0.1\text{mm}(100\mu\text{m})$, 분말도는 $2,800\text{cm}^2/\text{g}$ 이상이다.

일반적으로 현장에 이용되는 OPC는 단일 현탁액을 주로 사용되고 있다. 하지만 블리딩 현상 방지, 주입성 증대 및 주입재의 침하를 위하여 나트륨(Na)형 활성벤토나이트나 벤토나이트를 3~4%첨가하여 이용하는 경우도 많다.

(2) 초미립자 시멘트

일반적으로 주입 대상 지반에 대한 침투성은 주입재의 입자가 작을수록 좋아지므로 최근 현탁형 주입재의 주입성 개선을 목표로 시멘트 입자의 미립화에 많은 연구가 진행되고 있다(김진춘, 1999).

이 시멘트는 OPC에 비하여 입자가 작은 초미립자시멘트(Micro시멘트)로 물리적 성질은 OPC와 동일하며 독성과 냄새가 없다. 또한, C3A가 적고 강도발현이 크고 염화물과 황산염에 대한 화학적 저항성이 우수하므로 해수침투 지역, 온천지역, 쓰레기 매립장 등의 염화물 발생지역, 해안의 방조제 그라우팅 공사 등에 활용이 가능하다. 표 2.3은 주입재의 화학성분이다.

표 2.2 보통 포틀랜드 시멘트 물리적 특성(건설교통부, 2003)

항 목		종 류		1종	2종	3종	4종	5종
분말도	비표면적(cm ² /g)		2,800 이상	2,800 이상	3,300 이상	2,800 이상	2,800 이상	2,800 이상
응결 시간	길모어 시험	초결(분)	60이상	60이상	60이상	60이상	60이상	60이상
		종결(시간)	10이하	10이하	10이하	10이하	10이하	10이하
	비카 시험	초결(분)	45이상 375이하	45이상 375이하	45이상 375이하	45이상 375이하	45이상 375이하	45이상 375이하
수화열 (cal/g)	7일		-	70이상	-	60이상	-	
	28일		-	(80이하)	-	70이상	-	
압축 강도 (kg/cm ²)	1일		-	-	130	-	-	
	3일		130이상	110이상	250이상	-	90이상	
	7일		200이상	180이상	280이상	75이상	160이상	
	28일		290이상	285이상	310이상	180이상	210이상	

표 2.3 주입재 화학성분(건설교통부, 2003)

구분	Micro 시멘트(%)	OPC(%)
SiO ₂	28.5	20.3
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	66.8	69.5

2.4.5 그라우트 약액의 특징

(1)물유리

규산나트륨(규산소다)은 수용성 규산염 중 가장 널리 사용되고 있는 무기화합물이다. 화학식으로는 규산소다, 분자식으로는 Na₂O·nSiO₂(n은 Mole비)로 나타낸다. 물유리는 무기재료로서 매우 뛰어난 많은 특성을 지니고 있어서 다방면의 용도를 갖는 재료이다. 이것은 건식법으로서 규산(nSiO₂)과 탄산나트륨(Na₂CO₃) 또는 습식법으로서 규산(nSiO₂)과 수산화나트륨(NaOH)를 원료로 해서 만들어진다. n은 몰비로 n=4~5 범위의 것이 공업적으로 생산되고 있다. n이 1이하인 것은 결정성규산소다 라고 부르며 n이 1이상인 것은 비정질의 구조가 되어 액상으로서 통상 규산소다라고 부른다.

규산소다는 몰비에 의해 1호, 2호 3호, 4호가 있으며 일반적으로 약액주입에 사용되는 것은 3호 물유리로 특수한 경우에 2호, 4호가 사용될 때가 있다. 분자식으로 표현되며, 물에 대한 용해성이 있기 때문에 물유리(water glass)라고도한다. SiO₂/Na₂O의 몰비와 농도에 따라 다양한 성질을 나타내며 다양한 용도로 사용되고 있다(이규환, 2002).

표 2.4는 물유리계별 특성을 나열한 표이다.

표 2.4 물유리별 규격

구분	1호	2호	3호	메타규산나트륨	
외관	물엿 상태의 무색 도는 약간의 착색된 액체			1종	2종
SiO ₂ (%)	35-38	34-36	28-38	27.5-29	19.22
Na ₂ (%)	17-19	14-15	9-10	28.5-30	20-22
Fe (%)	0.03이하	0.03이하	0.02이하	-	-
물 불용분 (%)	0.2이하	0.2이하	0.2이하	-	-
Na ₂ O.nSiO ₂ (n)	2	2.5	3	1	1

(2) 물유리의 겔화

물유리의 겔화에 대해서는 그동안 많은 연구가 되어 왔으나 아직까지 명확한 이론이 정립되어 있지 않다. Iler 및 Ukihashi 등에 의하면 물유리에 산성 반응제를 가할 경우 다음과 같은 단계를 거쳐 겔화한다고 알려져 있다. 즉, 제1단계로 규산 모노머가 중합해서 고분자화하여 콜로이드 입자를 형성하고 2단계에서는 이들 입자가 서로 집합, 결합하여 연속적 구조를 형성하고, 물을 통해 확정하여 겔화하게 된다.

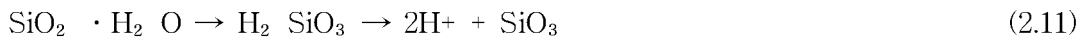


그림 2.9 물유리의 겔화 과정

즉, 1단계에서 규산은 실라놀기(Si-OH)들이 탈수중합해서 실록산 결합(Si-O-Si)을 만들고 이 1차입자가 성장, 집합, 결합하여 콜로이드 집합체를 형성한다. 이 집합체는 콜로이드 2차입자라 부르는데 이것이 용액 전체로 확장되어 겔을 이루게 된다. 이러한 1차입자의 결합 조치단계에는 입자는 수소결합에 의해 약하게 연결되지만 규산콜로이드 표면이 실라노르기도 되는 점을 고려한다면 실라노르기 사이에 축합이 일어나 입자간에 시로키산 결합이 형성되는 결과, 입자끼리 견고하게 연결되어 3차원적 망상형의 겔이 만들어 진다(양형철, 2000).

(3) 유리의 겔화 반응식

물유리는 산화나트륨과 무수규산이 여러가지 비율로 결합되어 있으며, 분자식은 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ (n:몰비)로 표시되며 수용액에서는 식 2.9, 식 2.10과 같이 반응하며 콜로이드의 화학적 반응은 식 (2.11)에 나타내었다(미창량, 2000).



(4) 유리화 무기반응제의 겔화

물유리의 겔화반응을 일으키기 위해 사용하는 반응제로 약액그라우팅의 선구자인 Joosten은 무기염 CaCl_2 를 이용했지만 현재는 그 외에 각종 무기산과 무기염이 사용된다. 그러나 이러한 무기계 반응제는 순간적으로 반응하는 것이 일반적인 특징이므로 이를 실제 주입에 적용하기 위해서는 주입액의 제조, 주입 침투를 위해 어느정도의 시간여유가 필요하다. 그러므로 이를 위해서 물유리의 농도는 묽게 하고 또한 콜로이드 입자의 방전에 필요한 양보다 적은 양의 반응제를 사용함으로써 gelltime을 조절해야 한다. 그러나 이것이 무기반응제 사용시 최대약점으로 이 때문에 겔화 반응이 불안정하게 되거나 미반응의 실리카분이 남아있게 되어 완성된 겔의 품질에 나쁜 영향을 주는 경우가 많다.

이에 대하여 글리옥살이나 에스텔과 같은 유기계 반응제는 물유리의 알칼리가 존재해 각각 서서히 완만한 반응속도로 초산과 글리콜산을 만들어 이것이 물유리를 겔화시켜간다. 이와 같이 반응속도가 늦으므로 콜로이드 입자를 방전시키는데 충분한 양의 반응제를 이용할 수 있고 따라서 gelltime의 조절도 용이하게됨과 동시에 겔의 품질도 안정하게 된다. 실제로 유기반응제를 주반응제로 하고 이에 무기반응제를 첨가해서 gelltime과 겔강도를 적당히 조절하여 사용하는 경우가 많다.

5) 물유리와 시멘트의 겔화

물유리와 시멘트 현탁액이 혼합되면 아래 그림과 같이 규산소다 수용액중의 규산콜로이드입자가 (-)전하로 대전되어 있고 현탁액중의 시멘트입자는 (+)전하로 대전되어

있기 때문에 이 두 액이 혼합될 때 방전(전하를 잃지 않은 하전치환)하면서 응결되는 겔화 현상이 일어난다(김선주, 2012).

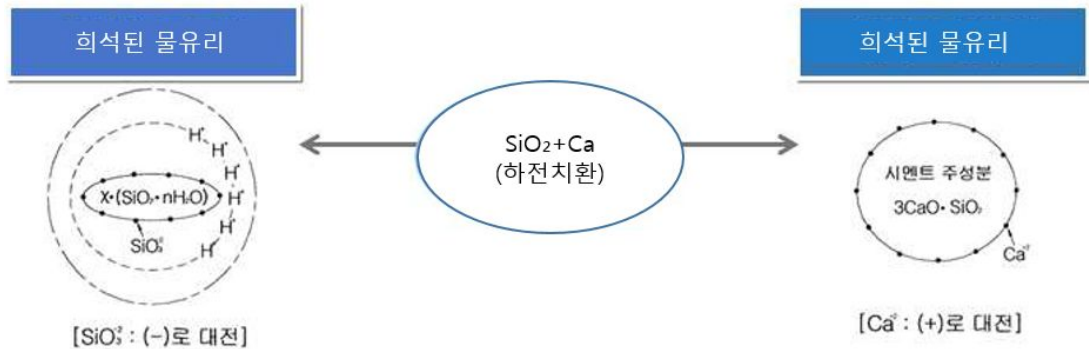


그림 2.10 물유리-시멘트 현탁액의 전하 치환 (심성준, 2010)

2.5 아라미드 섬유

2.5.1 아라미드섬유 개요

아라미드 섬유 1965년에 유리섬유의 강도와 석면의 내열성을 갖는 섬유를 목표로 개발에 성공한 방향족 고분자를 원료로 한 합성섬유이며, 지방족 폴리아미드(aliphatic polyamide)의 nylon과 대별되는 대표적인 용어이다. 1960년 말에 방향족 폴리아미드 섬유를 최초로 개발한 미국 Dupont사에 의해 제안 개발되어, kevlar 이라는 상표로 생산 되었다. 그 후 1974년 미국 연방통상위원회에 의해 방향족 폴리아미드는 85% 이상의 아미드기(CO-NH)가 두 개의 방향족 고리에 직접 연결된 합성 폴리아미드로부터 제조된 섬유로 규정하고 일반적인 명칭으로 아라미드라 정의되었다.

아라미드의 종류로서 크게 결합된 방향족환의 결합단위에 의해서 파라계 아라미드와 메타계 아라미드로 구분된다. 메타계는 고온에 내열성이 우수하고, 파라계 아라미드는 고탄성 및 고강도의 특징을 갖는다. 특히, 파라계 아라미드는 탄성율이 500~1,000g/d 정도로 탄성율이 좋으며, 인장강도 또한 20g/d 이상을 가지고 있다. 또한 분해온도가 400°C이상, -160°C이하에서도 섬유의 특성을 유지할 수 있어 내한·내열성 및 우수한 내구성을 가지고 있다. 아라미드 섬유는 다른 유기섬유와 다른 특성을 가지고 있고 가격대비 우수한 성능을 유지할 수 있어 최초의 산업화 이후, 부직포 및 원사

을 비롯하여 직물 등의 형태로 방탄방호용과 로프, 각종 복합재료, 케이블 등 산업자재의 용도로 정보통신, 자동차, 국방, 우주항공 등 다양한 관련 산업분야에서 사용이 확대되고 있는 소재이다.



그림 2.11 파라계 아라미드 섬유

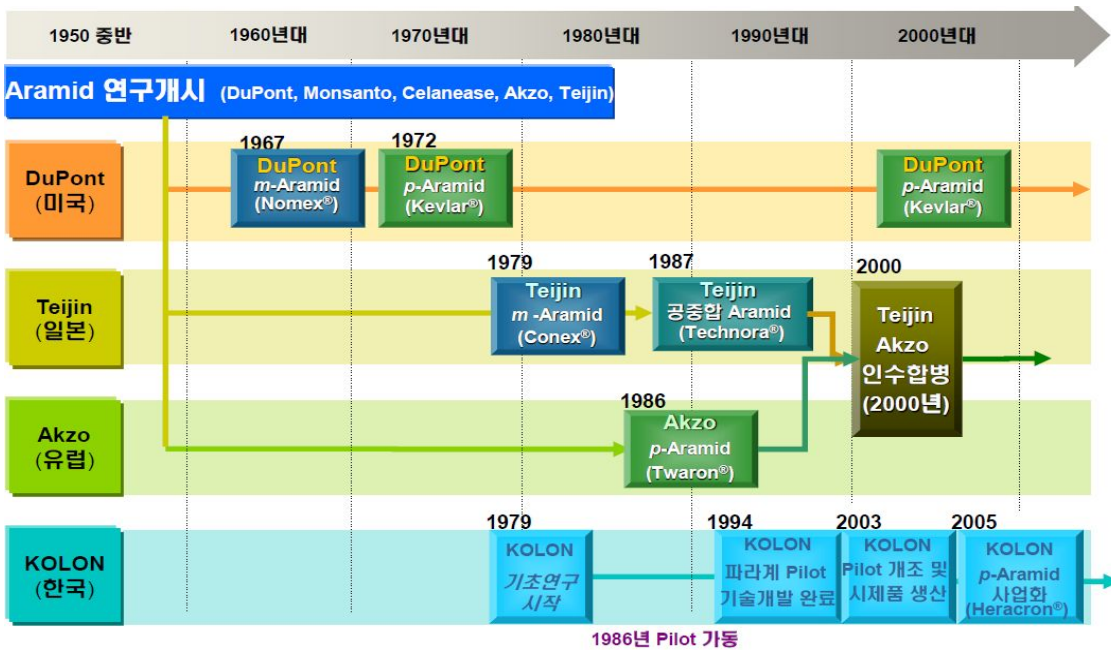


그림 2.12 파라아라미드섬유의 개발 역사(ECO융합섬유연구원, 2016)

2.5.2 아라미드섬유 제조

(1) 액정용액 제조

아라미드 섬유는 녹는 온도가 분해되는 온도보다 높기 때문에 녹여서 방사하는 방법은 불가능 하다. 중합체를 적절하게 용매에 녹인 후 방사원액으로 만들어 용액방사를 해야 한다. 또한 파라계는 유기용제에 용해성이 거의 없기 때문에 진한 황산 등 무기산을 방사용매로 사용한다. 파라계 아라미드는 적절하게 용매 되었을 때 이계농도 이상의 고농도에서 액정을 형성하는 특징을 갖는다. 이는 중합체가 용매에 용해될 때 임계농도까지 농도가 증가하면서 점도 또한 증가한다. 하지만, 임계농도를 지나면서 급격히 감소하는데 이는 낮은 농도에서 불규칙하게 용해되었던 고분자 사슬이 임계농도를 지나면서 평행배열이 형성되고 이 배열은 미끄러짐 때문에 점도가 감소한다. 임계점이 넘은 용액에 농도를 계속 증가 시키면 액정상과 용해가 이루어지지 않은 고체의 혼합으로 점도는 다시 증가한다.

(2) 액정방사

액정 용액은 고분자 사슬이 평행하게 배열되어 용액이 방사 될 때 유지되어 방사되는데 이를 액정 방사라고 한다. 고농도의 방사 용액에서 고분자 사슬이 방사되는데 평행 배열된 영역을 섬유축 방향으로 배향시킨다는 특징이 있다. 이러한 배향을 좀 더 효과적인 방법을 위해 그림 2.13과 같이 기격습식 방사법을 이용한다. 이는 습식방사법을 기본으로 하지만 노즐을 통해 토출된 방사 용액이 일정간격의 공기층을 통과한 후 응고액을 통과하게 된다는 특징이 있다. 습식 방사에서의 빠른 응고로 발생하는 문제점으로 백탁 현상과 결정화도 저하 등을 앓은 박막이 형성되어 이어지는 응고속에서의 강한 상분리 응고 반응을 지연시켜 해결하였다. 파라계 아라미드의 경우 이방성 용액을 형성하기 때문에 고농도의 용액이 저점성에서 사용되어 응고액과 방사구 사이에서 토출된 방사용액이 응고되기 전 인장된다는 특징을 가지고 있다. 이러한 방사 방법을 통해 구조적 및 물리적 성질이 향상되어 후처리 등을 하지 않아도 고배향, 고탄성률을 갖는다.

방사 공정: Dry-jet wet spinning
(기격 건습식 방사)

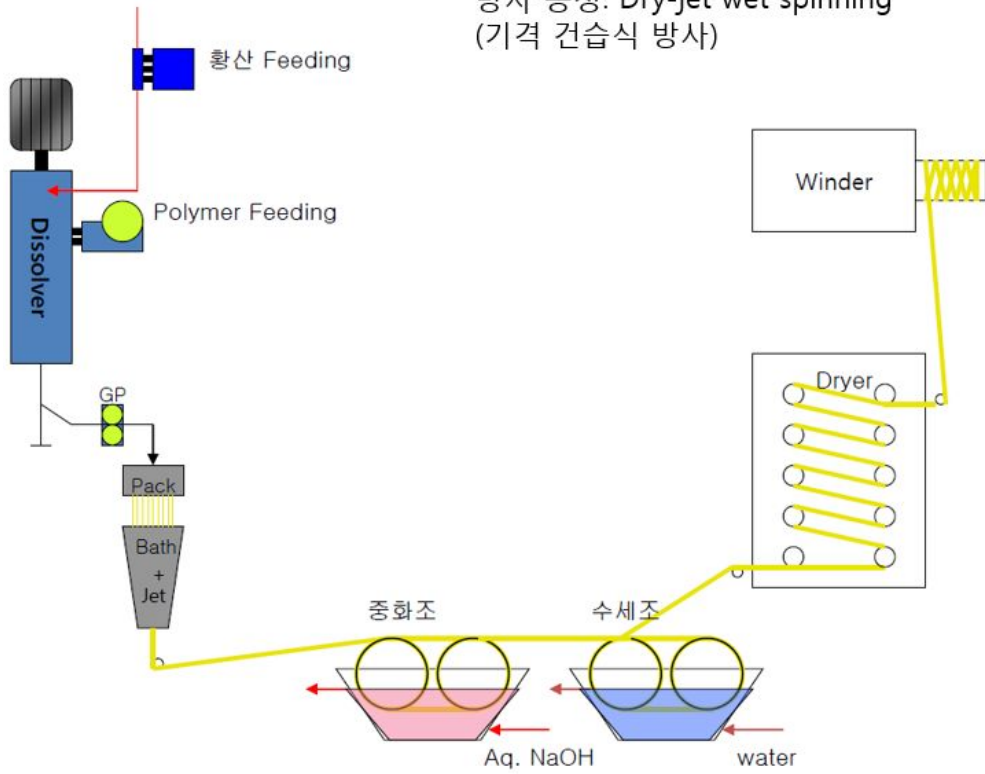


그림 2.13 파라아라미드 원사의 제조 과정

2.5.3 아라미드섬유 구조

아라미드섬유는 그림 2.14와 같이 간직한 구조를 가지며 선형 사슬을 따라 주기적으로 존재하는 아미드기의 영향으로 분자간의 수소결합이 형성되어 높은 결정화를 갖는다. 따라서 아라미드는 배향도가 80%이상의 고배향성을 갖고 결정화도가 60이상으로 고결정성을 갖기 때문에 기계적 성질이 우수하다.

과라계 아라미드섬유는 그림 2.15와 같이 PPTA 사슬의 집합체가 원의 반지름 방향으로 배향된 주름잡힌 판상 구조를 가진다.

주름의 폭은 약 250nm이고 주름과 주름의 접경에는 약 30nm 정도 폭의 띠가 주기적으로 형성되어 있으며 주름과의 각도는 약 170°정도이다. 이 각도는 특히 탄성률이 지대한 영향을 미친다.

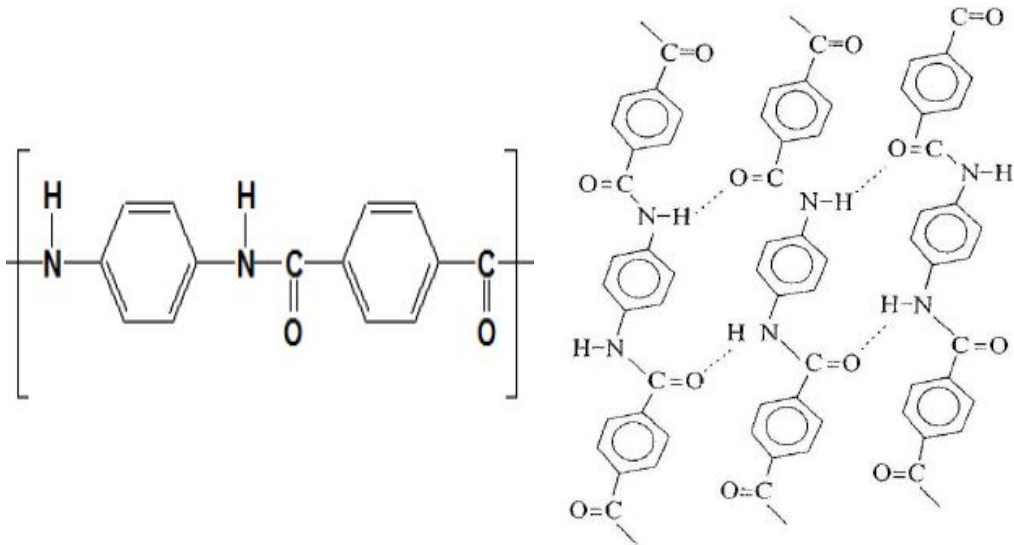


그림 2.14 파라계 아라미드 섬유의 화학식

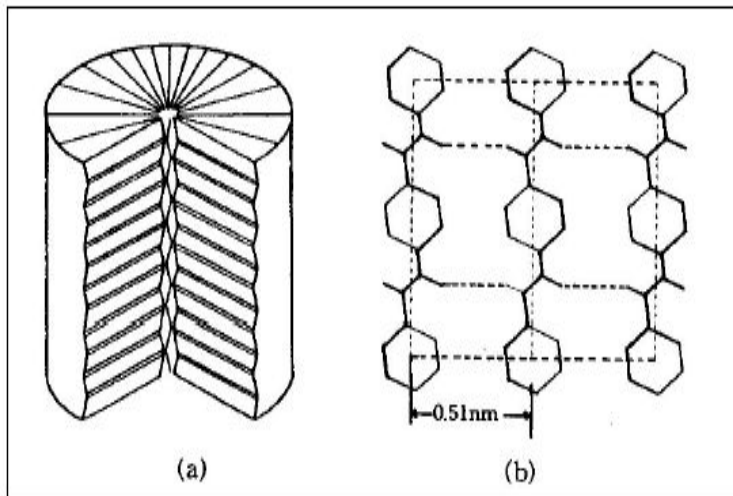


그림 2.15 파라계 아라미드 섬유의 구조

2.5.4 아라미드섬유 특성

파라계 아라미드 섬유 Dobb와 Morgan에 규칙적인 피브릴 구조로 이루어져 있으며, 피브릴은 섬유축을 따라 약 600nm의 폭과 35nm의 간격마다 층이 현상되어 있다. 섬유의 표면에서는 피브릴이 섬유의 축방향으로 균일하게 배열되어 있다. 코어에는 피브릴이 250nm에 계단식으로 불안정하게 쌓여있다. 섬유의 성질은 주로 표면층에 의해 결정 된다. 제조공정별 조건에 의해 표면층과 코어층의 형상이 달라져 섬유의 물리적 성질에서 차이가 발생하게 되는데, 섬유의 외부가 받는 전단력이 내부보다 커서 외부의 분자쇄들이 내부보다 더 잘 배향하기 때문에 생기는게 필라멘트의 굵기가 굵을수록 코어 부분의 비율이 높아져 섬유의 강도를 저하시킨다. 다음 표 2.5는 파라계열 아라미드와 다른 섬유의 특성을 비교한 표이다.

표 2.5 각 섬유별 특징

구 분	특 징	판매가 (\$/kg)	밀 도 (g/cc)	강 도 (g/d)	탄성율 (g/d)	내화 학적성
p-Aramid	<ul style="list-style-type: none"> • DP Kevlar, TJ Twaron • ▶초고강도 시장 70% 점유 	\$20~25 (SF)	1.44	22~26	460~1,100	Mild - Good
UHMWPE	<ul style="list-style-type: none"> • DSM/Toyobo Dyneema oneywell Spectra ▶경량의 강력사 	\$41~47 (FY)	0.97	35	2,000	Good
Polyarylate	<ul style="list-style-type: none"> • Kuraray Vectran • Kevlar 유사물성, 용융방사 	\$48 (1,500d) \$200 (200d)	1.47	25	700	Very Good
탄소섬유	<ul style="list-style-type: none"> • Toray, Toho Tenax • 고강도/고탄성률, 치수안정 	\$70~80	1.76~1.8	22~40	1,480~1,851	Excel-lent

제 3 장 실내실험 및 분석

3.1 주입재료의 getime 측정

3.1.1 getime 측정을 위한 배합비

일반적으로 그라우팅용 시멘트 현탁액형 주입재의 급결재로 규산소다 3호와 같은 물유리계를 주로 사용한다. 대표적으로 사용되는 물유리계인 규산소다의 경우 단가가 매우 저렴하고 비교적 저점성으로 침투성도 좋으며, 겔화형성이 뚜렷하기 때문에 시공면에서 경제성이 우수하다.

본 연구에서는 급결재인 규산소다 3호와 물, 아라미드섬유와 시멘트의 배합비에 따른 getime을 분석하고자 아라미드 섬유의 혼입률에 따른 getime을 측정하였다.

주입재 제조는 A액(52.5ml) 속의 규산소다 3호를 21.88ml(30%) 로 고정시키고, B액(52.5ml) 속에 시멘트와 물을 각각 21g, 45.15ml로 배합하였고 아라미드섬유를 시멘트 대비 0%, 0.5%, 1%, 1.5%로 혼입률 변화 하여 첨가하였으며, 아라미드섬유의 경우 유기섬유로 유동성 및 분산성의 문제가 있다. 본 연구에서는 이를 개선하고자 표면에 유제처리를 하여 0.7%와 1.2%로 나눠 섬유의 표면특성을 개선하여 getime을 측정하였다.

getime은 A액, B액을 각각 200ml 종이컵에 62.5ml씩 채운 후 연속적으로 좌, 우 혼합시켜 종이컵에서 유동성이 정지되는 시간을 3회 측정하여 평균값으로 나타내었다.

표 3.1은 getime 측정을 위한 주입재 배합비이다.

표 3.1 getime 측정을 위한 주입제 배합비

A액(62.5ml)		B액(62.5ml)			표면유제처리
규산소다3호 (ml)	물(ml)	OPC(g)	물(ml)	아라미드 섬유(g)	
21.88 (30%)	40.62 (70%)	21	45.15	- (0%)	0.7%
				0.105 (0.5%)	
				0.210 (1.0%)	1.2%
				0.315 (1.5%)	

그림 3.1은 getime을 확인하기 위한 시험과정을 나타낸 그림으로 시험과정에 대해 다음과 같이 나타내었다. SS는 규산소다 3호(Sodium Silicate)이며, C는 시멘트(Cement), W는 물(Water), A는 아라미드 섬유(Aramid fiber), O는 표면유제처리용(Oiling agent)이다.

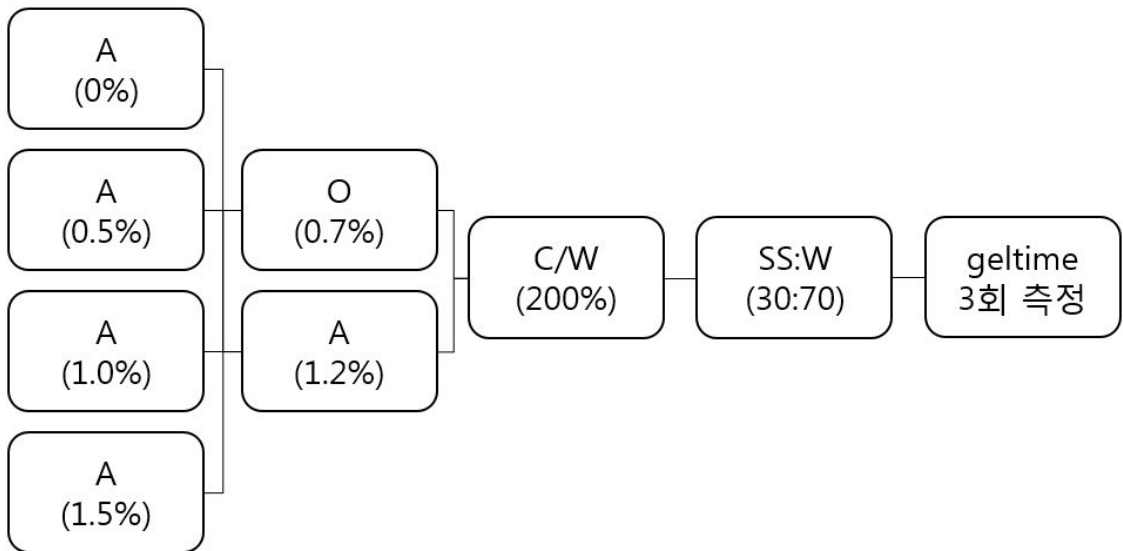


그림 3.1 getime 측정을 위한 시험과정

3.1.2 getime 측정을 위한 제작과정

본 실험에서는 주입재 배합비를 중량비로 계산하여 A액과 B액을 각각 200ml 종이컵에 62.5ml씩 채운 후 혼합하였다. gellime를 측정하기 위해 각각의 종이컵 2개로 배합한 후, 혼합을 시작한 시간부터 종이컵에서 유동성이 없을 때까지 좌, 우로 이동시킨 후 시간을 초단위로 기록하였고, 3회 반복 측정하여 평균으로 나타내었다.

그림 3.2(a)는 gellime를 측정하기 위해 배합하여 유동성이 정지 할 때까지 반복적으로 좌, 우로 움직이는 사진이고, 그림 3.2(b)는 유동성이 정지 한 후의 초단위를 기록한 사진이다.



(a) 종이컵에 배합



(b) 종이컵 유동성

그림 3.2 주입재의 gellime 측정 모습

3.2 배합비별 일축압축강도실험

3.2.1 호모겔 일축압축강도를 측정하기 위한 배합비

본 연구에서 측정하고자 하는 호모겔 공시체는 흙 시료를 사용하지 않고 주입재료만의 순수한 일축압축강도를 측정하여 주입재료의 타당성을 확인하기 위한 실험으로, LW공법 시 사용되는 규산소다 3호와 시멘트의 사용량을 고정시키고 아라미드 섬유 혼입률과 표면유제처리율을 변화시켜 일축압축강도를 측정하고자한다.

한편, 아라미드 섬유는 섬유 혼입율이 증가할수록 강도가 증가하며 표면유제처리율이 증가할수록 압축강도가 증가한다. 이는 섬유의 표면유제처리율의 증가에 의해 섬유의 분산 능력이 향상되고 공시체 내부에서 섬유의 분산능력으로 가교작용으로 응력이 분사 및 균열 제어에 효과적일 것으로 나타났다.

공시체의 강도를 평가하기 위해서 5cm(D) × 10cm(H) 원주형 몰드에 성형하여 호모겔 형태의 공시체를 제작하였다. 수중양생하고, 24시간 후 탈영하여 재령 3일, 7일, 21일, 28일 강도를 나타내었다.

주입재의 혼합비율은 표 3.2와 같으며, 급결재인 A액과 경화재인 B액을 부피비 1:1로 혼합 성형하여 준비된 몰드에 양생 하였다. A액(350ml) 속의 규산소다3호의 함량은 물 대비 105ml(30%)로 고정시키고, B액(350ml) 속의 시멘트와 물을 각각 104g, 301ml로 배합하였고 아라미드섬유를 시멘트 대비 0%, 0.5%, 1%, 1.5%로 혼입률을 변화 하여 첨가하였다. 또한 표면 유제처리비율을 0.7%와 1.2%로 나누워 공시체를 제작 하여 일축압축시험을 실시하였다.

또한 실험의 신뢰성을 높이기 위하여 각 배합비마다 3개의 Case를 제작하여 일축압축강도의 평균값을 사용하였다.

일축압축강도는 만능재하시험기를 이용하였으며, 압축속도는 1mm/min로 일축압축강도를 측정하였다.

표 3.2는 일축압축강도 측정을 위한 주입재의 배합비이다.

표 3.2 일축압축강도 측정을 위한 주입제 배합비

A액(350ml)		B액(350ml)			표면유제처리
규산소다3호 (ml)	물(ml)	OPC(g)	물(ml)	아라미드 섬유(g)	
105 (30%)	245 (70%)	140	301	- (0%)	0.7%
				0.7 (0.5%)	
				1.4 (1.0%)	1.2%
				2.1 (1.5%)	

그림 3.3은 getime을 확인하기 위한 시험과정을 나타낸 그림으로 시험과정에 대해 개략적으로 다음과 같이 나타내었다. SS는 규산소다 3호(Sodium Silicate)이며, W는 물(Water), C는 시멘트(Cement), A는 아라미드 섬유 (Aramid fiber), O는 표면유제처리(Oiling agent)이다.

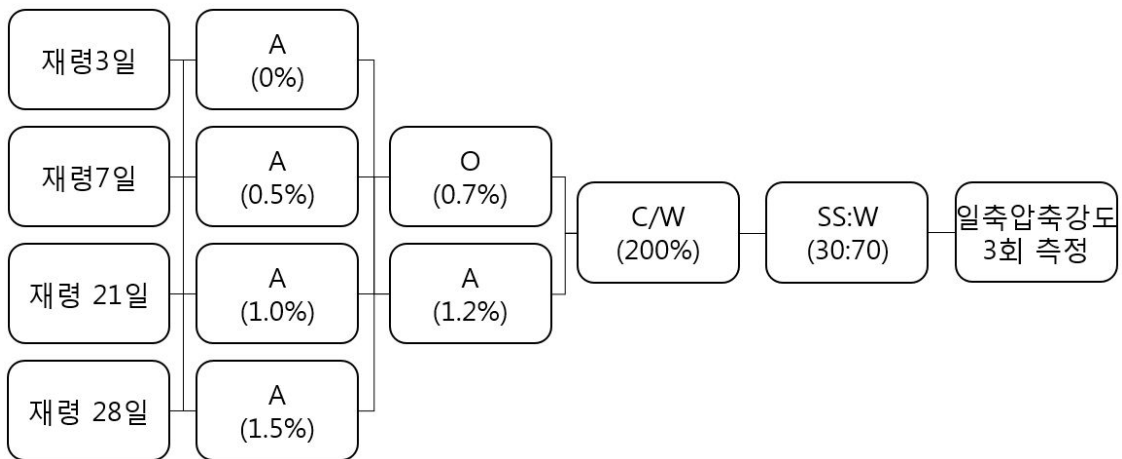


그림 3.3 일축압축강도 측정을 위한 시험과정

3.2.2 호모겔 공시체 제작과정

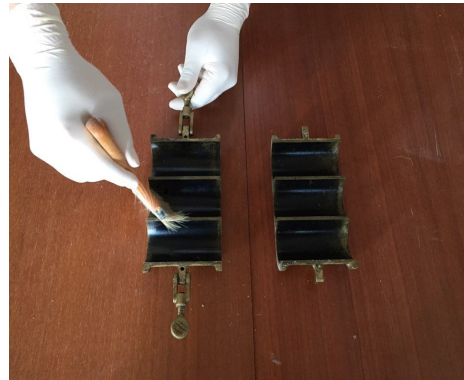
일축압축강도실험을 위한 공시체의 몰드 크기는 KS F 2331에 의해 7cm(D)와 14cm(H)로 1 : 2의 크기를 추천하고 있으며, 시료의 크기나 직경 대 높이의 비율을 맞추도록 하고 있다. 그러나 실질적으로 사용하는 시료의 크기나 실험에 사용된 몰드에 맞추기는 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서 사용된 몰드의 크기는 5cm(D)와 10cm(H)의 원형 몰드로서 직경 대 높이의 비율이 1 : 2로 제작하였다. 실험 몰드는 주철로 제작하였으며, 탈거 과정에서 공시체의 변형을 최소화하기 위하여 용기 안쪽에 윤활제를 얇게 도포하였다. 공시체를 제작 후 용기의 탈거가 용이하도록 1/2로 분리되는 형태로 설계되었다.

실험에 사용할 용기는 그림 3.4와 같다.



(a) 공시체 몰드



(b) 윤활제 도포

그림 3.4 호모겔 제작에 사용된 일축압축 시험용기

(1) 호모겔 공시체 제작

1/2로 분리되는 공시체 몰드에 윤활제를 도포한 다음 배합비에 따라 주입재를 혼합 성형하였다. 준비된 몰드에 주입재를 넣고, 24시간 후 공시체를 탈형하여 수중 양생을 통해 공시체를 재령하였다.

완성된 공시체의 크기는 5cm(D)와 10cm(H)로 주입재에 따른 일축압축강도를 분석하기 위해 3일, 7일, 21일, 28일까지 재령 하였으며, 그림 3.5와 같이 일축압축강도실험

을 수행하였다.



(a) 배합후 공시체 모양



(b) 공시체 제작 후 수중양생

그림 3.5 일축압축시험 전경

3.3 배합비에 따른 투수시험

3.3.1 투수시험을 측정하기 위한 배합비

본 연구에서는 정수위 실험을 기본으로 하여 포화투수실험을 실시하였다. 정수위 시험은 모든 형태의 흙에 폭 넓게 사용되고 있다. 유추되는 물의 양을 Q 와 측정시간 t 를 측정하여 투수계수를 유출한다.

섬유를 이용한 그라우팅공법은 시멘트와 약액으로 사용하는 그라우팅공법과 섬유를 이용하여 흙 입자 사이에 주입 되므로 지반의 강도 증가 및 차수의 효과를 나타내는 공법이다.

투수실험을 위해 표 3.3은 시료 배합비를 나타낸 것이다. 시멘트와 물, 규산소다 3호는 고정하고 아라미드 섬유의 혼입률과 표면유제처리의 비율에 대해 투수시험 후 투수계수를 구할 수 있다.

시료의 하단에 철망과 거름종이를 설치하여 시료가 빠져나가지 못하게 하였고, 배합 후 수중양생을 실시하여 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 일정 온도를 맞춰 양생을 실시하였다.

본 실험에 사용한 시료는 표준사를 사용하였다. 모형토조의 (D)100mm × (H)120mm의 토조에서 실험을 진행하였다

표 3.3 투수시험 측정을 위한 주입제 배합비

A액(350ml)		B액(350ml)			표면유제처리	표준사(g)
규산소다3호(ml)	물(ml)	OPC(g)	물(ml)	아라미드 섬유(g)		
105 (30%)	245 (70%)	140	301	- (0%)	0.7%	900
				0.7 (0.5%)		
				2.1 (1.5%)	1.2%	



(a) 배합전 시료



(b) 투수시험 배합

그림 3.6 투수시험 배합 과정

3.4 배합비에 따른 geltime 분석

3.4.1 표면 유제처리 비율에 따른 geltime 분석

(1) 표면유제처리 0.7% geltime 분석

표면 유제처리를 0.7%일 경우 아라미드 섬유(0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%) 비율에 따라 geltime을 분석하였다. geltime을 분석을 수행하기 위해서 3회이상 실시하여 geltime을 측정 후 평균값을 나타내었다.

아라미드 섬유의 경우 유기섬유로서 친수성의 성질을 가지고 있어 시멘트 복합재료의 보강재료로 사용될 경우 유동성의 저하 및 섬유의 분산성에 문제가 있다. 본 연구에서는 이를 개선하기 위하여 섬유표면에 유제처리를 실시하였으며, 유제처리량에 따른 유동성 및 섬유의 분산성과 geltime에 대한 검토를 하고자 유제처리량에 따라 다음과 같이 실험 수준을 설정하였다. 각각의 비율(0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%)별 표면유제처리 비율 (Oiling agent ratio)을 0.7, 1.2 %로 구분하여 섬유의 표면특성을 개선하였다.

그림 3.7은 아라미드섬유는 친수성으로서 배합시 배합수를 흡수하는 성질이 크기 때문에 유동성 및 시멘트 매트릭스 내부에서의 섬유분산효율이 저하한다. 이에 본 연구에서는 아라미드섬유의 표면유제처리 (Oiling agent)를 통하여 소수성으로 개질하여 유동성 및 분산효율을 개선하고자 하였다.

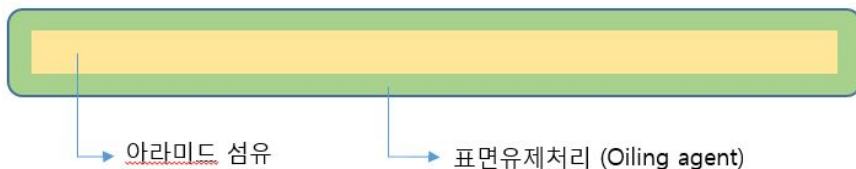


그림 3.7 아라미드 섬유에 표면 유제처리 된 모습

그림 3.8은 아라미드 첨가 비율을 “A”로 표기하였고, 표면유제처리 비율을 “O”로 표기하였다. O-A가 0.7%-0% 일 때 3회 측정 후 평균으로 194초로 가장 낮은 geltime 가지고 있으며, O-A가 0.7%-0.5%일 때 183.3초, O-A가 0.7%-1.0% 일 때 179.7초, O-A가 0.7%-1.5% 일 때 172.7초로 섬유의 양이 증가할수록 geltim이 소폭으로 감소

하는 경향이 나타났다.

이는 아라미드 섬유가 친수성으로 배합시 배합수를 흡수하여 시멘트와 물의 수화반응을 일으키는 양이 줄어들면서 geltime은 줄어들어 드는 것을 판단된다.

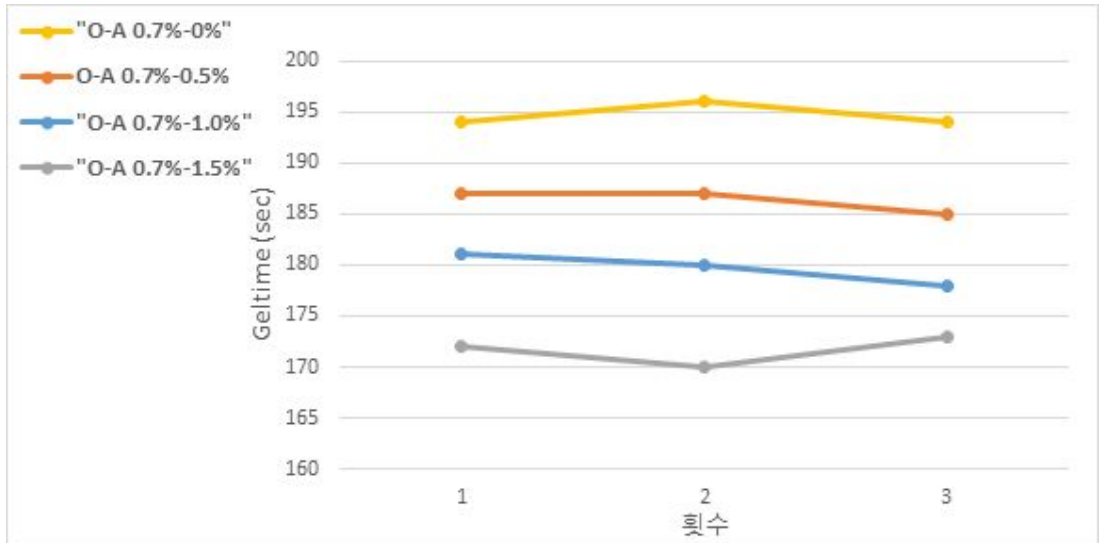


그림 3.8 표면유제처리 비율이 0.7%에 따른 geltime 실험결과

(2) 표면유제처리 1.2% geltime 분석

그림 3.9은 O-A가 1.2%-0% 일 때 3회 측정 후 평균으로 194초로 가장 늦은 geltime 가지고 있으며, O-A가 1.2%-0.5%일 때 188.3초, O-A가 1.5%-1.0% 일 때 182.3초, O-A가 1.2%-1.5% 일 때 176.3초로 섬유의 양이 증가할수록 Geltim이 소폭으로 감소하는 경향이 나타났다. 이는 앞서 언급한 표면 유제처리비율이 0.7%인 동향과 비슷한 동향을 보이고 있으며, 이는 친수성을 가진 아라미드 섬유가 증가함에 따라 배합수를 흡수하여 geltime이 감소하는 것으로 판단된다.

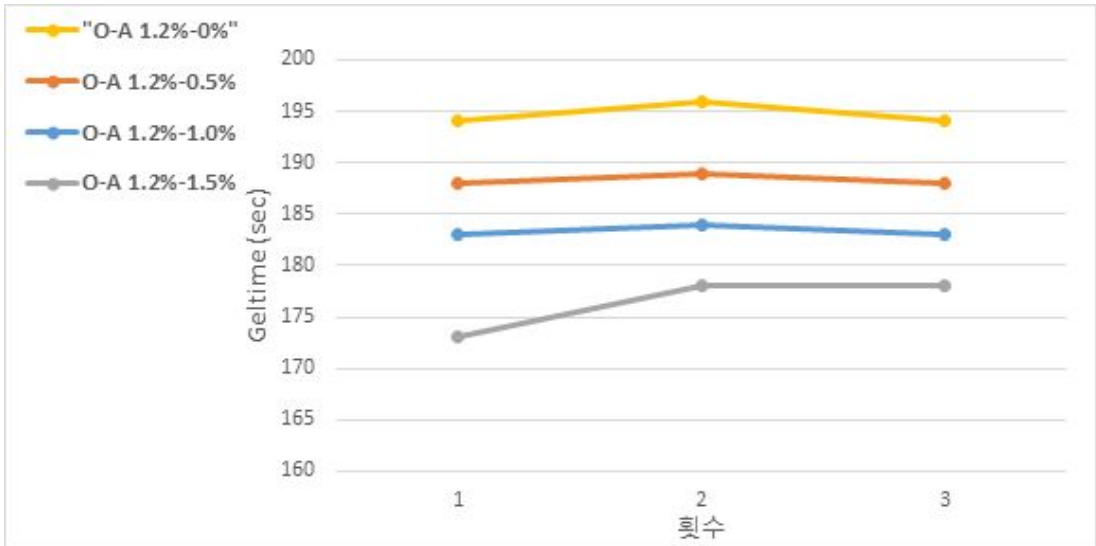


그림 3.9 표면유제처리 비율이 1.2%에 따른 geltime 실험결과

3.4.2 아라미드 섬유에 따른 geltime 분석

(1) 아라미드섬유 배합비별 geltime 분석

그림 3.10과 같이 O-A가 0.7%-0.5%와 O-A가 1.2%-0.5% 일 때 geltime을 분석하였다. O-A가 0.7%-0.5% 일 때 186.3초이며, O-A가 1.2%-0.5% 일 때는 188.3초로 O-A가 0.7%-0.5% 보다 소폭으로 증가 하는 경향을 보인다.

그림 3.11과 같이 O-A가 0.7%-1.0%와 O-A가 1.2%-1.0% 일 때 geltime을 분석결과, O-A가 0.7%-1.0% 일 때 179.7초이며, O-A가 1.2%-1.0% 일 때는 183.3초로 O-A가 0.7%-0.5% 보다 소폭으로 증가 하는 경향을 보인다.

그림 3.12과 같이 O-A가 0.7%-1.5%와 O-A가 1.2%-1.5% 일 때 geltime을 분석결과, O-A가 0.7%-1.5% 일 때 171.6초 이고, O-A가 1.2%-1.5% 일 때 176.3초이다.

아라미드 섬유별 geltime을 분석한 결과 표면유제처리 비율이 증가하면 geltime 시간은 2~5초 정도의 작은 폭으로 geltime이 증가하는 것으로 나타나며 이는 아라미드에 표면 유제처리를 하면 본 섬유의 특성상 친수성으로 물을 흡수하는 특징을 가지는데 표면유제처리를 하므로 아라미드섬유가 배합수를 흡수하는 양이 줄어들면서 geltime이 증가하는 것으로 판단된다.

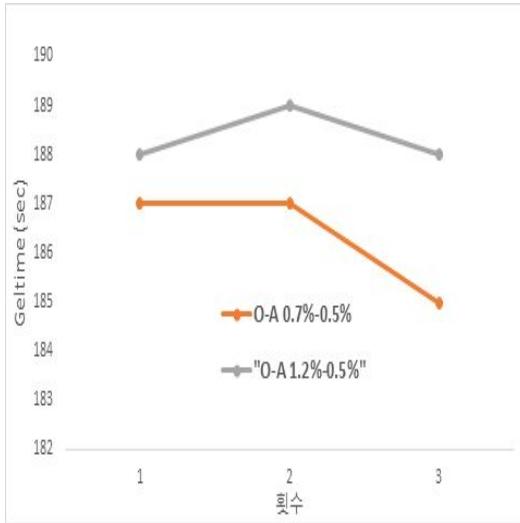


그림3.10 아라미드 0.5% 배합의 geltime 측정결과

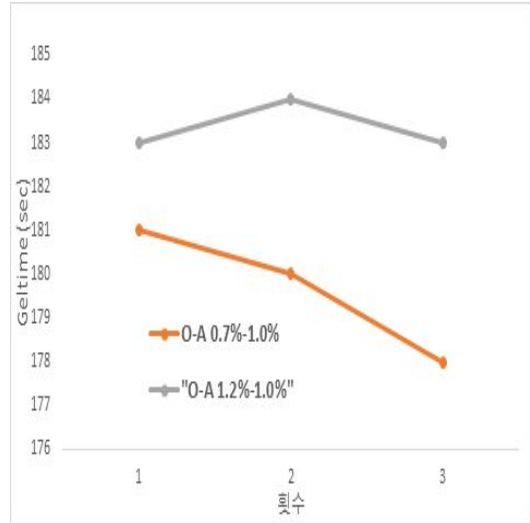


그림3.11 아라미드 1.0% 배합의 geltime 측정결과

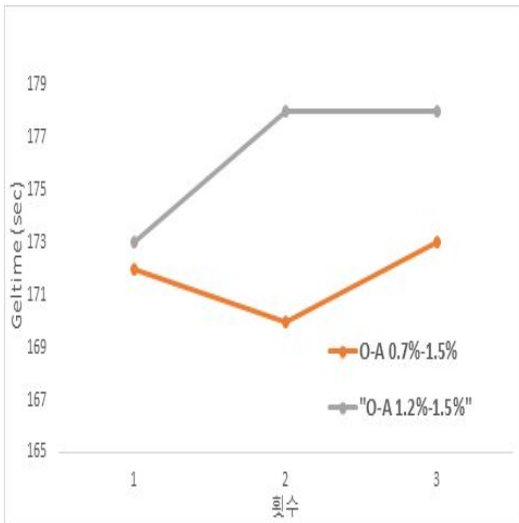


그림3.12 아라미드 1.5% 배합의 geltime 측정결과

3.4.3 gelltime 종합 분석

표면유제처리(0.7%, 1.2%) 비율 “O“에 따른 아라미드섬유(0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%) ”A“의 gelltime 분석결과, 아라미드섬유의 첨가량이 0.0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%로 증가할수록 gelltime은 표면유제처리 비율이 0.7%와 1.2% 모두 최대 약 20초가량 감소하였다. 이는 아라미드섬유가 특성인 친수성으로 배합수를 흡수하여 섬유의 양이 증가할수록 gelltime이 줄어드는 것으로 나타났다. 또한, 아라미드 섬유의 배합비(0.0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%)별 표면처리에 따른 gelltime은 각각의 배합비 표면유제처리 비율이 증가할수록 2~5초의 gelltime이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 아라미드 섬유에 표면에 유제처리가 되면서 섬유의 특성인 친수성 발휘 범위가 줄어들어 배합수에 흡수량이 줄어들고 이는 gelltime의 증가됨을 판단할 수 있다.

본 연구에서 수행한 결과, gelltime은 아라미드 섬유의 양에 상당한 영향을 받으며 표면 유제처리 비율에 따른 gelltime의 영향도 어느 정도 있는 것으로 판단된다.

일반 LW 그라우팅 공법에서 gelltime의 기준은 없으나, 초급결 gelltime은 6~12초이며, 급결 gelltime은 12~50초이고, 일반 gelltime은 50~90초, 완결 gelltime은 90~300초를 기준으로 보고 있으며 gelltime은 시멘트의 증감과 혼화재 등을 이용하여 간단히 조절이 가능하며 이번시험에 사용한 규산소다의 양은 물 : 규산소다 3호 70 : 30 으로 규산소다에 양을 늘려 가면서 목표 gelltime을 확보 가능 할 것으로 판단된다.

표3.4 gelltime 종합 분석 결과이다.

표 3.4 gelltime 종합 분석결과

O(%)	A(%)	gelltime(sec)			
		1	2	3	평균
0.7	0.0	194	194	196	194.7
	0.5	187	187	185	186.3
	1.0	181	180	178	179.7
	1.5	172	170	173	171.7
1.2	0.0	194	194	196	194.7
	0.5	188	189	188	188.3
	1.0	183	184	183	183.3
	1.5	173	178	178	176.3

3.5 배합비에 따른 일축압축강도 분석

3.5.1 아라미드 섬유 첨가량에 따른 일축압축강도 시험

(1) 표면유제처리 0.7%에 아라미드 섬유 첨가량에 따른 일축압축강도 시험결과

본 연구에서는 표면유제처리(0.7%, 1.2%)에 따른 일축압축강도를 분석하고자 한다. 그림 3.14와 같이 표면유제처리를 0.7%로 처리한 아라미드 섬유에 배합한 공시체 3개를 만들어 평균값을 일축압축강도로 측정한 결과이다. 재령 3일차에 아라미드섬유가 첨가되지 않은 공시체인 0% 일 때 4.61kg/cm²로 가장 낮은 강도를 나타냈으며, 아라미드 섬유 첨가량이 1.5%일 때 7.12kg/cm²로 가장 큰 일축압축강도를 나타냈다. 또한 재령 28일차에는 아라미드섬유 첨가량이 1.5%일 때 가장 값인 18.18kg/cm²로 나타났고, 가장 낮은 값도 아라미드섬유 첨가량이 0%에서 14.55kg/cm²로 가장 작은 일축압축강도를 나타냈다. 아라미드섬유 0%일 때 보다 0.5%, 1.0%, 1.5%인 경우 28일 기준 각각 7%, 16%, 24% 씩 증가였다. 아라미드섬유의 첨가량이 증가할수록 3일차, 7일차, 21일차, 28일차 모두 1.5%, 1.0%, 0.5%, 0.0% 순으로 일축압축강도가 높은 것으로 나타났다.

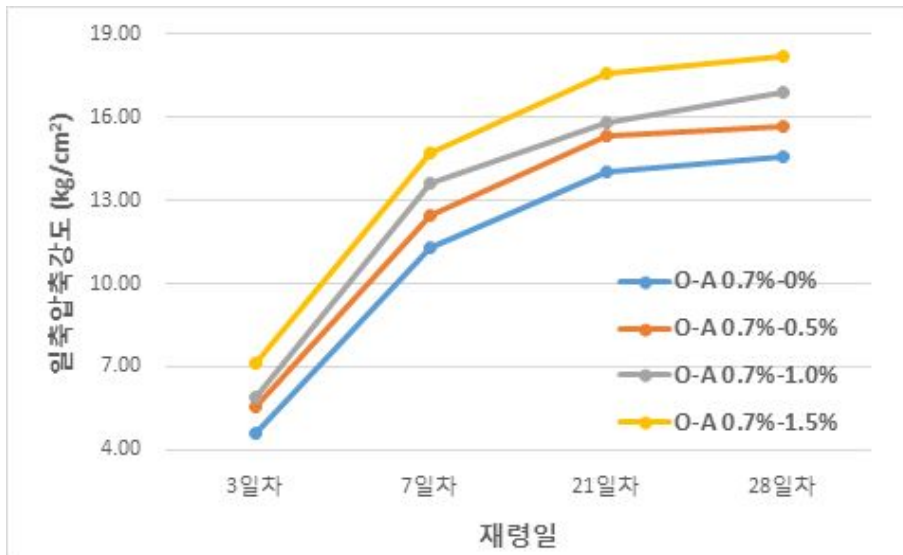


그림 3.13 표면유제처리 0.7%일 때 아라미드섬유 첨가량에 따른 일축압축강도 결과

(2) 표면유제처리 1.2%에 아라미드 섬유 첨가량에 따른 일축압축강도 시험결과

그림 3.15와 같이 표면유제처리를 1.2%로 처리한 아라미드 섬유에 배합한 공시체 3개를 만들어 평균값을 일축압축강도로 측정한 결과이다. 재령3일차에 아라미드섬유가 첨가되지 않은 공시체인 0% 일 때 4.59kg/cm²로 가장 낮은 강도를 나타냈으며, 아라미드 섬유 첨가량이 1.5%일 때 9.51kg/cm²로 가장 큰 일축압축강도를 나타냈다. 또한 재령 28일차에는 아라미드섬유 첨가량이 1.5%일 때 가장 값인 23.58kg/cm²로 나타났고, 가장 낮은 값도 아라미드섬유 첨가량이 0%에서 14.55kg/cm²로 가장 작은 일축압축강도를 나타냈다. 아라미드섬유가 0%에 비해 0.5%, 1.0%, 1.5% 각각 약32%, 43%, 62%씩 증가하였다.

이 또한, 위의 표면유제처리 0.7%와 같이 아라미드섬유의 첨가량이 증가할수록 3일차, 7일차, 21일차, 28일차 모두 1.5%, 1.0%, 0.5%, 0.0% 순으로 일축압축강도가 높은 것으로 나타났다. 이는 시멘트와 섬유간의 부착성이 좋고 표면유제처리를 통해서 분산능력 또한 증진되어 강도가 증가 한 것으로 판단된다.

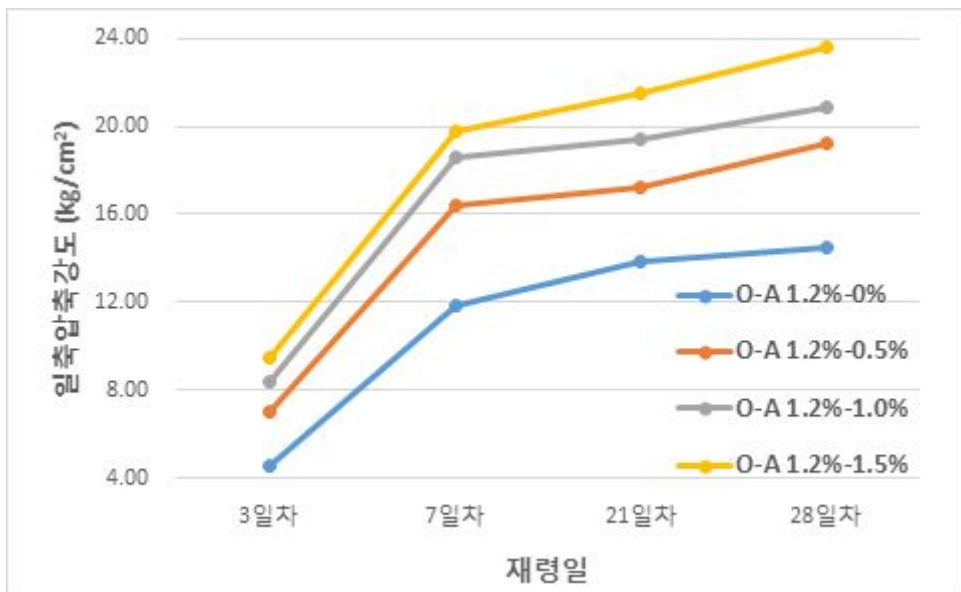


그림 3.14 표면유제처리 1.2%일 때 아라미드섬유 첨가량에 따른 일축압축강도 결과

3.5.2 표면유제처리에 따른 일축압축강도 시험

(1) 아라미드 섬유 첨가량에 따른 표면유제처리 비율 별 일축압축강도 분석

본 연구에서는 아라미드 섬유의 함유량(0.5%, 1.0%, 1.5%)에 따른 일축압축강도를 분석하고자 한다. 그림 3.16은 아라미드섬유 0.5% 첨가한 공시체 일축압축강도를 측정된 결과이다. O-A가 0.7%-0.5%에 채령 3일차 일축압축강도는 5.59kg/cm²이고 O-A가 1.2%-0.5%는 6.99kg/cm²으로 나타났다. 채령 28일차 일축압축강도는 'O-A'가 0.7%-0.5%에 15.68kg/cm²이 나타났고 O-A가 1.2%-0.5%에는 19.24kg/cm²으로 나타났다.

표면유제처리 0.7%보다 1.2%일 때 채령 3일차는 125% 채령 7일차는 131% 채령 21차는 123% 채령 28일차에는 123%가 증가하였다.

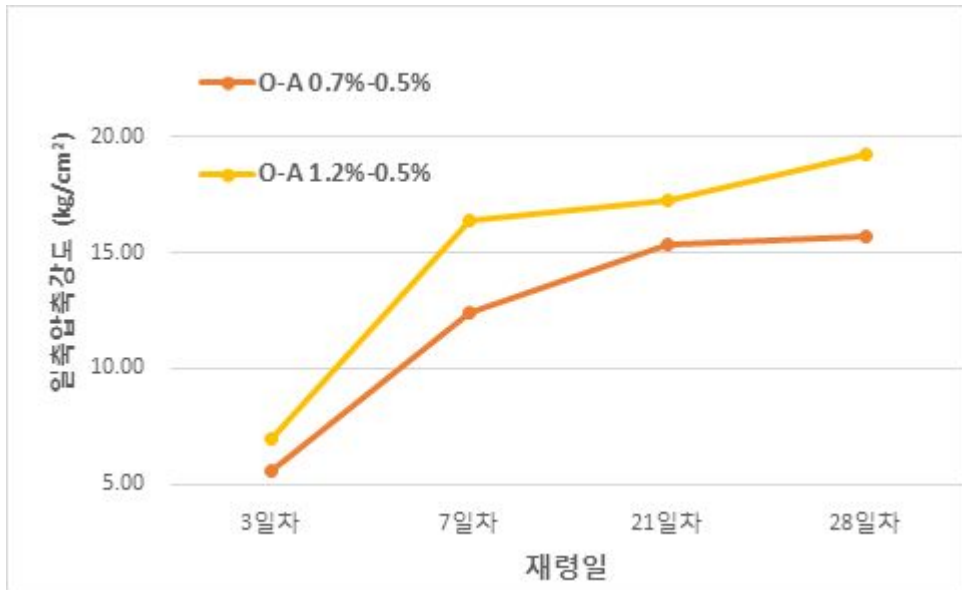


그림 3.15 아라미드섬유 0.5% 일 때 표면유제처리에 따른 일축압축강도 결과

그림 3.17은 아라미드섬유가 1.0%를 첨가한 일축압축 공시체에 표면유제처리 비율이 0.7%와 1.2%에 대한 비교한 결과 값이다. 채령 3일차 일축압축강도의 O-A가

0.7%-1.0%일 때 일축압축강도는 5.88kg/cm²이고 O-A가 1.2%-1.0%일 때 8.40kg/cm²으로 나타났다. 또한, 재령 28일차의 경우 O-A가 0.7%-1.0%일 때 16.91kg/cm²이고 O-A가 1.2%-1.0%일 때 20.85kg/cm²로 나타났다. 표면유제처리 0.7%보다 1.2%일 때 재령 3일차는 143% 재령 7일차는 137% 재령 21일차는 123% 재령 28일차에는 123%가 증가하였다.

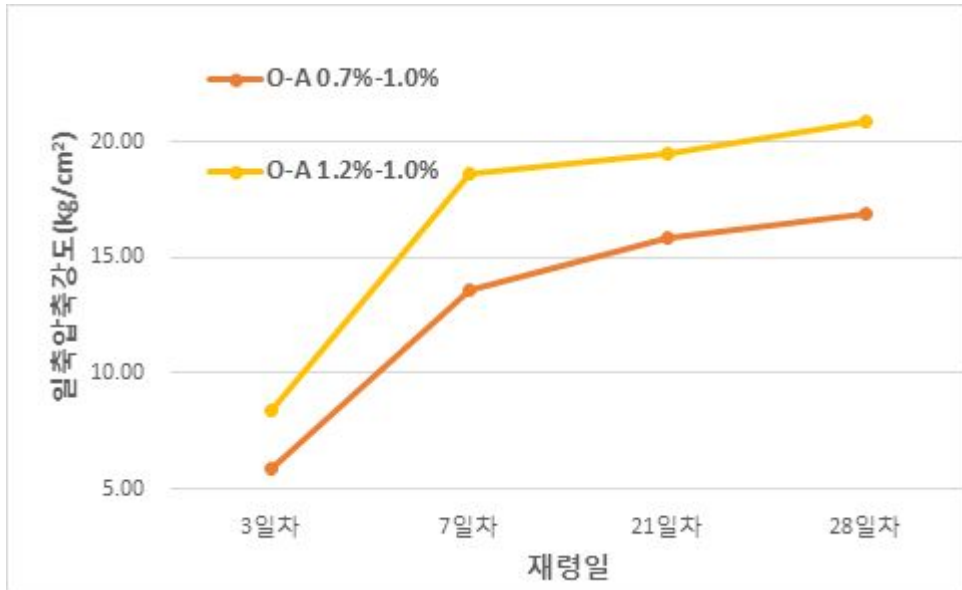


그림 3.16 아라미드섬유 1.0% 일 때 표면유제처리에 따른 일축압축강도 결과

그림 3.18 아라미드섬유가 1.5%를 첨가한 일축압축 공시체에 표면유제처리 비율이 0.7%와 1.2%에 대한 비교한 결과 값이다. 재령 3일차 일축압축강도의 O-A가 0.7%-1.5%일 때 일축압축강도는 7.12kg/cm²이고 O-A가 1.2%-1.5%일 때 9.51kg/cm²으로 나타났다. 또한, 재령 28일차의 경우 O-A가 0.7%-1.5%일 때 18.18kg/cm²이고 O-A가 1.2%-1.5%일 때 23.58kg/cm²로 나타났다. 표면유제처리 0.7%보다 1.2%일 때 재령3일차는 134% 재령 7일차는 134% 재령 21일차는 122% 재령 28일차에는 130%가 증가하였다.

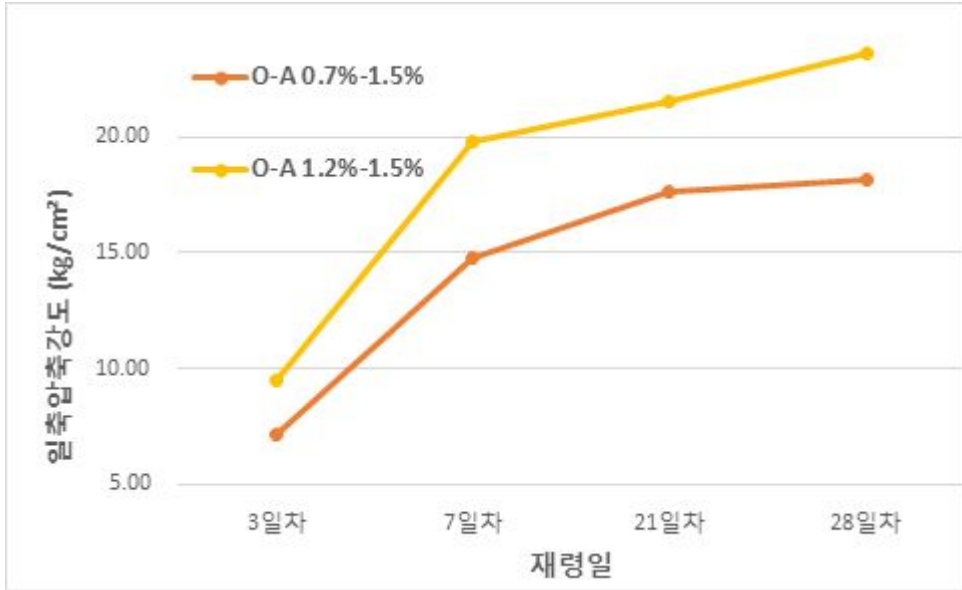


그림 3.17 아라미드섬유 1.5% 일 때 표면유제처리에 따른 일축압축강도 결과

3.4 배합비에 따른 투수시험 분석

표 3.5는 배합비별 투수시험 결과를 나타낸 표이다. 아라미드 섬유를 0%를 배합한 경우 600초 동안 통과한 투수량 Q 는 2.35cm^3 으로 투수계수 k 는 $3.15 \times 10^{-5}\text{cm/sec}$ 이며, 표면유제처리 비율이 0.7%일 때 아라미드섬유 첨가량이 0.5%의 투수량 Q 는 0.72cm^3 으로 투수계수 k 는 $9.82 \times 10^{-6}\text{cm/sec}$ 로 나왔으며, 아라미드 섬유 첨가량이 1.5%일 경우 투수량 Q 는 0.34cm^3 으로 투수계수 k 는 $4.64 \times 10^{-6}\text{cm/sec}$ 로 나왔다. 표면유제처리 비율이 1.2%일 때 아라미드 섬유 첨가량이 0.5%일 경우 투수량 Q 는 0.51cm^3 이고 투수계수 k 는 $6.99 \times 10^{-6}\text{cm/sec}$ 로 나왔으며, 아라미드섬유 첨가량이 1.2%일 경우 투수량 Q 는 0.11cm^3 투수계수 k 는 $1.50 \times 10^{-6}\text{cm/sec}$ 로 나왔다.

시험결과를 분석하면, 아라미드 섬유의 양이 증가할수록 투수량이 적어 투수계수가 낮게 나타났으며, 또한 표면유제처리가 높을수록 섬유의 투수량이 적어 투수계수가 낮게 나타났다. 이는 공시체 안에 섬유의 양이 증가하게 되면 공시체의 수축을 방지 하면서 이러한 결과가 도출된 것으로 판단되며, 표면유제처리가 되면 분산 능력이 증가

하며 공시체에 고르게 분포하여 수축을 방지해 아라미드 섬유가 증가할수록 표면유제 처리가 높을수록 투수량이 적으며 투수계수가 낮은 것으로 판단된다.

표 3.5 배합비별 투수시험 결과

투수지름 r (cm)	10				
측정번호	시멘트	0.7%-0.5%	0.7%-1.5%	1.2-0.5%	1.2-1.5%
시험착수시각 t (sec)	600	600	600	600	600
투수량 Q (cm ³)	2.35	0.72	0.34	0.51	0.11
투수계수 k (cm/s)	3.15×10^{-5}	9.82×10^{-6}	4.64×10^{-6}	6.96×10^{-6}	1.50×10^{-6}

제 4 장 결 론

본 연구에서는 아라미드 섬유를 이용하여 그라우팅에 적용 가능 섬유인지 판단하고자 LW공법과 비교해 gelltime과 호모겔 일축압축강도시험, 투수시험을 비교하여 그라우팅에 적용이 가능한 첨가제인지 확인하였다. 그라우트재로 사용하기 위해 규산소다와 물 비율은 30 : 70으로 고정하고 물: 시멘트 비 W/C 또한 200%로 고정하였다. 그리고 아라미드섬유를 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%로 배합하였고 표면유제처리 비율 0.7%, 1.2%로 배합하여 비교실험을 실시하였다.

1. 표면유제처리 별 gelltime을 측정한 결과, 표면유제처리(0.7%, 1.2%)비율에 따른 아라미드섬유 첨가량이 증가할수록 gelltime이 증가하는 것을 확인하였고, 아라미드섬유(0.0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%)첨가량에 따라 표준유제처리에 따른 gelltime은 소폭 증가하는 것을 확인하였다. 따라서 gelltime은 아라미드 섬유의 양에 따라 영향을 받으며, 표면유제처리 비율에 따른 gelltime에 영향도 어느 정도 있는 것으로 확인 하였다.
2. 표면유제처리 별 일축압축강도를 측정한 결과, 표면유제처리 0.7%, 1.2% 모두 아라미드 섬유의 첨가량이 증가할수록 모든 재령일에 일축압축강도가 증가하였다. 재령 28일 기준으로 표면유제처리 0.7%와 아라미드 섬유의 첨가량이 1.5%일 때 아라미드 섬유 첨가량이 없는 일축압축강도에 비해 약 25% 증가 하였고, 표면유제처리 1.2%와 아라미드 섬유의 첨가량이 1.5%일 때 아라미드 섬유 첨가량이 없는 일축압축강도에 비해 약 62%가 증가하였다.
3. 아라미드 섬유 첨가량 별 일축압축강도를 측정한 결과, 아라미드 섬유 첨가량이 0.5%, 1.0%, 1.5% 모두 표면유제처리가 0.7%보다 1.2%일 때 모든 재령일에 약 20~30%가 증가하는 것으로 나타났다. 이처럼 아라미드 섬유 양의 증가와 표면유제처리율이 증가함에 따라서 압축강도가 증가하는 경향을 보였다.

섬유의 표면유제처리율의 증가로 섬유의 분산 능력이 증가하고 이는 더 많은 섬유를 고르게 분산시켜 시멘트 재료 내부에서 섬유의 가교 작용에 의해 일축압축강도가 증가하는 것으로 판단되며, 섬유의 분산 능력과 균열을 제어하는데 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

4. 표면유제처리 및 아라미드 섬유를 첨가한 투수시험결과, 섬유 양의 증가와, 표면 유제처리율이 증가할수록 투수량이 적어 투수계수가 낮게 나왔다. 이는 투수시험 공시체 내부에 분포된 섬유가 공시체의 수축을 방지하고 표면유제처리가 분산능력을 향상시켜 공시체의 내부에서 수축을 방지시켜 투수계수가 낮은 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 권지연(2012), “실내실험을 통한 알칼리성 실리카졸-시멘트 주입재의 공학적 특성에 관한 연구”, 한양대학교, 석사학위논문
2. 김선주(2012), “지오폐리머계 그라우트재의 내해수 특성”, 한양대학교 석사학위논문, pp.7~11.
3. 심성준(2010), “시멘트 그라우트의 배합 특성에 따른 지반 침투효과 분석”, 충남대 학원, 석사학위논문, 7~13pp
4. 양형철(2000), “JS-CGM Grouting의 시공관리 지침서”, CGM 학회학술대회,
5. 이강호(2009), “초미립 시멘트를 이용한 강관다단 그라우팅 주입재 연구”, 배재대 학 교, 석사학위논문
6. 이규환, 정대석(2002), “SEM을 이용한 카올린-시멘트의 미세 구조 분석”, 대한토목 학회 학술대회
7. 이방연(2012), “그라우팅에 적합한 점성을 갖는 변형률 경화 시멘트 복합재료” 한국 구조물진단유지관리공학회 논문집 제16권 제1호
8. 천병식(2005), “최신 지반주입-이론과 실제-”, 원기술, pp.169~170.
9. 천병식, 권형석(1999), “C.G.S에 의한 기초지반보강효과에 관한 연구”, 한국철도학회 논문집, Vol.2, No.4, pp.9~19.
10. 최민형 (2005), “강섬유 보강 그라우팅을 사용한 Soil Nailing 공법의 보강효과 연 구” 단국대학교 석사학위논문
11. 한국콘크리트학회 (2005), “최신콘크리트공학”, 기문당,
12. Kutzner, C. (1996), “Gouting of Rock and Soil,” A.A Balkema, pp.203~204
13. Choi, S-M. (2002), “Polyvinyl Alcohol Fibers: Introduction and Manufacturing Technology”, *Fibertechologyandindustry*, Vol.6, No1/2, pp.83-95
14. Fariborz, V., Claudia, P. O., Paulo, J. M., George, C. (2007), “Resistance of concrete protected by fabric to projectile impact”, *Cementand Concrete Research*, ELSEVIER, pp37,96-106.
15. Karol, R. H.(1960), “oils & Soil Engineering, Chap. 17” Prentice Hall Eng. Mechanics Series, Englewood Cliffs, N. Y..
16. King J. C. and Bush E. G. W.(1961), “Symposium on Grouting : Grouting of

- Granular Materials”, ASCE Proceeding, Journal of SMFE, Vol. 87, SM2, pp.1~32.
17. Kravetz G. A.(1958), “Cement and Clay Grouting of Foundation : The Use of Clay in Pressure Grouting”, P. of ASCE, J. of SMFE, SM 1, pp.1546-1~30.
 18. Li. V. C. (1993), “The design of cementitious composites for civil engineering applications”, Japan Society of Civil Engineers, 10(2), pp37-48.
 19. Maalej, M., Zhang, J., Quek, S. T., & Lee, S. C. (2004), “High-velocity impact resistance of hybrid-fiber engineered cementitious composites”, *InProc.5thInt.Conf.onFractureMechanicsofConcreteandConcreteStructures,FraMCo S-5*, pp1051-1058.
 20. Shah, S. P, Rangan B. V, (1971), “Fiber reinforced concrete properties”, *ACIMaterialsJournal*. pp.126~135
 21. Shah, S. P., Ludirdja, D., Daniel, J. I. and Mobasher, B., (1988) “Toughness-Durability of Glass Fiber Reinforced Concrete Systems,” *ACIMaterialsJournal*, Vol.85, No.5, pp.352~360.
 22. 島田俊介, 兼松陽(1977), “最新の地盤住入工法”, 理工圖書.
 23. 米倉亮三外(2000), “恒久グラウト注入工法”, 山海堂, pp.103~114.