

Global Report

지속가능한 건설재료로 새롭게 등장한 지오폐리머 폼 콘크리트

1. 개요
2. 소개
3. 시멘트 및 콘크리트 산업의 지속 가능성
4. 폼 콘크리트 기술
5. 지오폐리머 폼 콘크리트 개발
6. 지오폐리머 폼 콘크리트 개발의 과제
7. 결론

1. 개요

건설재료의 생애주기 가운데 제조 및 운영단계에 있어서 환경발자국(environmental footprint)이 감소된 지속 가능한 건설 및 건축 재료의 개발은 전 세계 주택 및 건설 산업에 대한 관심을 증가시키고 있다. 최근에 지오폐리머 폼 콘크리트에 대한 혁신적인 개발이 이어져 왔다. 그런데 이 혁신은 플라이애시에서 추출된 지오폐리머 바인더 사용을 통하여 얻은 “요람에서 문까지(cradle-to-gate)”단계의 배출물 감소와 더불어 경량 폼 콘크리트를 사용하여 얻을 수 있는 성능상의 이점과 운용 에너지 절약을 결합한 것이다. 지오폐리머 폼 콘크리트 사용과 관련된 특성 및 잠재적 주요 장점을 더 잘 이해하기 위해 본 논문에서는 보통포틀랜드 시멘트(OPC) 또는 지오폐리머 바인더를 기반으로 한 폼 콘크리트 사용과 관련하여 현재 시멘트 및 콘크리트 업계가 직면하고 있는 몇 가지 지속가능성 문제점들을 다루고자 한다. 내화성을 증진하는 지오폐리머 바인더의 잠재력도 중요하며 지오폐리머 결합 단계의 알루미늄실리케이트 베이스(basis)는 고온 안정성을 가져오는데 중요하다. 상업적으로 성숙한 지오폐리머 폼 콘크리트 기술 개발은 공급 원료의 표준화(품질관리)와 백화현상의 제어라는 두 가지 문제점에 직면하여 있다. 이 문제의 해결에는 원 재료의 화학분야에 대한 보다 상세한 탐구와 지오폐리머의 미세구조 개발에 대한 심도 있는 연구를 필요로 하고 있다.

2. 소개

지난 세기에 걸쳐 포틀랜드 시멘트 기반의 콘크리트는 지구상에서 가장 많이 생산된 제품이 되어왔다. 그 이유는 이 재료의 다양성과 일반적으로 매우 안정적인 성능 그리고 필요한 원료 및 가공기술의 광범위한 가용성과 비교적 저렴한 비용 때문이다. 그러나 엔지니어링 분야와 일반 대중들에게 재료를 평가하는 핵심 기준으로서 “지속가능성(sustainability)”이 널리 채택된 이래로 건설 재료 산업은 포틀랜드 시멘트 생산이 지속 불가능한 것으로 인식되고 있음에 따라 압박이 커지고 있다. 기능적 단위(functional unit) 당 내재 에너지 강도는 대부분의 다른 건축 재료에 비해 낮지만 전 세계 수요를 충족시키는데 필요한 대량의 생산량으로 인해 전체적인 원자재와 에너지의 소비, 온실가스 배출 및 먼지 오염이 발생한다. 따라서 제조 및 운영단계에 걸쳐 환경 발자국을 줄이는 지속가능한 건설 및 건축 재료의 개발은 현재 전 세계 주택 및 건설 산업의 핵심적 초점이 되고 있다. 이 보고서에서는 이 문제에 대한 세계적인 해결책의 일환으로 지오폐리머 폼 콘크리트의 개념을 다루고자 한다. 이를 위한 기초 작업으로 폼 콘크리트 기술의 현재 상태와 지오폐리머 형성의 몇 가지 기본적인 물리화학적 측면이 검토된다. 지오폐리머는 실온에서 또는 약간 실온보다 높은 온도에서 고체 알루미나 및 전구체 재료(precursor materials)를 함유하는 실리카의 알칼리 활성화(activation)에 의해 형성된 알루미늄실리케이트 바인더(aluminosilicate binder)이다. 이러한 부류의 재료들은 지난 수십 년 동안 콘크리트 생산용 바인더로서 보통포틀랜드시멘트(OPC)의 주요 대체재 중 하나로 등장해왔다. 지오폐리머 기술의 여러 가지 측면에서 상당한 연구가 수행되어 왔지만 이 기술의 적용은 기술적 및 비기술적인 여러 사유로 아직 널리 확산되어 있지 않다. 이 보고서에서는 발포 경량 지오폐리머 콘크리트 생산의 특정 문제점들을 집중조명하고 이 기술의 활용범위를 확대시키는 과정의 일환으로 공급원료 재료 화학, 미세 구조 및 엔지니어링 특성의 제어를 포함한 요소에 대해 보다 심층적이고 포괄적인 이해의 중요성을 파악하고자 한다.

3. 시멘트 및 콘크리트 산업의 지속 가능성

3.1 지속가능한 개발 노력의 현황

세계 환경개발위원회(World Commission on Environment and Development - WCED)에서 발표한 바와 같이 지속가능한 개발 개념은 다음과 같이 정의 된다: “현세대의 니즈를 충족시키기 위해 미래 세대의 역량(ability)를 훼손하지 않으면서 현 세대의 니즈를 충족시키는 역량”. 이 정의는 수명 종료 처리 및 잠재적 재사용 또는 재활용뿐만 아니라 제조 및 서비스 중인 어떤 재료, 구성요소 또는 구조에 대한 원자재 공급, 에너지 소비 및 환경적 영향 등 특정 산업의 모든 측면에서의 고려가 필요하다. 시멘트 및 콘크리트 산업에서 기존의 석회석 기반의 재료의 엄청난 소비로 인해 미래의 값싼 원료의 부족에 대한 잠재적 가능성은 고려되어야 할 첫 번째 측면이다. 본문 그림 1은 21세기 초 10년 동안 시멘트 생산 및 유통에 대한 세계적인 용량규모를 요약한 것이다.

3.2 지오폐리머-포틀랜드 시멘트의 대체 바인더

지오폐리머라는 용어는 1970년대 Joseph Davidovits에 의해 알칼리 활성화 알루미늄실리케이트 바인더 계열의 재료를 기술하기 위해 도입되었으며, 이후 다양한 알칼리 활성화 바인더를 기술하는데 널리 사용되었다. 지오폐리머의 개발은 내화성과 관련된 초기 용도에서 보다 일반적인 건설 용도로 활용되는 것으로 변모해 왔으며 그 연구 및 적용 사례는 관련문헌 [5,30,31]에 잘 검토되어 있다. 지오폐리머는 알칼리 양이온에 의해 균형전하상태의(charge-balanced) 사면체 알루미늄이 음전하 공유 결합(covalent bonds)에 의해 3차원 구조로 연결된 사면체 실리케이트(tetrahedral silicate) 및 알루미늄이온 단위로 구성되어 있다. 원재료는 두 부분으로 구성되어 있다: 즉, 플라이애시 및 소성점토와 같은 반응성 알루미늄실리케이트 고체와 일반적으로 알칼리 금속 수산화물 또는 규산염 용액인 알칼리 활성화 용액이 그것이다. 단일 부품 지오폐리머 전구체의 개발에도 관심이 있지만 현재까지 개발된 재료는 대부분의 건설용으로 쓰이기에는 충분하지 못한 강도를 가지고 있는 편이다.

4. 폼 콘크리트 기술(Foam concrete technology)

폼 콘크리트는 일반적으로 세골재를 첨가 또는 첨가하지 않으면서 공극이 아주 큰 시멘트질 바인더로 구성된 일종의 경량 콘크리트로 정의된다. 1914년 Aylsworth와 Dyer가 그리고 1923년 Bayer와 Eriksson가 폼 콘크리트에 대한 특허를 받았으나 건물 에너지 효율성이 점점 더 큰 관심사가 됨에 따라 지난 수십 년 동안 경량 건축 재료로서의 용도로 훨씬 더 인기를 얻게 되었다. 이 보고서에서 폼 콘크리트란 용어는 거품발생 또는 포기(aeration)등 방법에 관계없이 모든 유형의 셀룰러 콘크리트에 적용된다. 기공성 골재를 사용하는 것은 재료의 단열성능을 향상시키기 위해 공극을 도입하는 또 다른 방법이지만 본 보고서 검토범위를 넘어서는 사항으로 여기서는 주로 경량 바인더의 개발에 초점을 맞추고자 한다.

4.1 폼 콘크리트의 구성

4.1.1 바인더

폼 콘크리트에 사용되는 바인더는 가장 일반적으로 보통포틀랜드 시멘트(OPC) 기반의 바인더로 단독 또는 다른 재료와 결합하여 시멘트-모래, 시멘트-라임 및 속경성 포틀랜드 시멘트와 같은 유형의 바인더가 제공된다. 플라이애시 및 GBFS는 시멘트 보조 재료로 시멘트를 부분 대체하기 위해 일반적으로 사용되며 공랭식 슬래그(air-cooled slag)도 일부 유리한 특성을 나타낸다. 화강암질 석회석(granitic limestone)과 실리카 미분과 같은 비시멘트계 미세분도 비용을 줄이는데 사용될 수 있으며 톱밥, 규조토 및 벤토나이트와 같은 재료들은 생 콘크리트의 시공연도와 최종 강도를 개선하는 충전재로 사용될

수 있다. 분쇄된 재활용 유리는 제품의 비용을 줄이고 페이스트의 안정성을 향상시키는데 우수한 충전재인 것으로 밝혀졌다. 발포폴리스티렌 입자와 팽창 페라이트는 발포 콘크리트의 경량 충전재로서 인기가 있다. 이러한 비시멘트계 충전재의 양은 Spinney [51]에 의해 제안된 바와 같이 50%를 초과해서는 안 되며, 특히 폴리스티렌과 같은 유기계 물질의 경우 시멘트 페이스트와 충전재 사이의 접착력 부족은 재료분리현상을 나타낼 수 있다.

4.1.2 공극

공극이 폼 콘크리트의 밀도와 강도를 결정하게 됨으로 공극의 성질, 크기 및 분포를 제어하는 것이 폼 콘크리트의 생산에 있어서 가장 중요한 단계이다. 공극은 크게 두 가지 방법으로 생성될 수 있다:

- (1) 시멘트 페이스트 또는 몰탈에 과산화수소(H_2O_2) 또는 고온 알루미늄이나 아연 분말과 같은 가스 방출제를 혼합함으로써 얻을 수 있는 것으로 내생성 가스(endogenous gas) 발생에 의한 것.
- (2) 또는 일반적으로 유기 발포제를 사용하여 아주 많은 양의 기포 도입에 의한 것.

혼합물의 조성과 양생 프로세스뿐만 아니라 다양한 기포발생 방법으로 폼 콘크리트 내에 각각의 다양한 크기와 분포의 기포를 생성할 것이며, 이는 폼 콘크리트의 특성에 추가적인 영향을 미칠 것이다. 반응성 금속 분말은 알칼리성 환경에서 물 및 수산화물과 반응하여 수소가스의 기포를 방출하고 가수 분해된 금속 복합물을 생성한다.

4.2 폼 콘크리트의 특성

4.2.1 다양한 발포 방법에 따른 공극의 특징

폼 콘크리트의 기공은 하나의 시스템으로서 겔 기공, 모세관 기공 및 공극으로 구성된다. 기공의 크기는 나노미터 수준에서 밀리미터 수준에 까지 이르며 크기가 큰 부분은 주로 공극에 의한 것이다. 기포 발생 방법은 크기, 부피 및 모양 등을 포함하여 폼 콘크리트의 공극 특징에 영향을 미치게 된다. 다양한 발포 방법에 따른 전형적인 공극의 특징은 본문 표 1에 표시되어 있다. 기계적 발포 방법으로 생성된 폼 콘크리트의 공극 크기는 화학적인 발포 콘크리트에 비해 더 미세하다는 것을 표를 통해 알 수 있다. 공극의 연결성은 발포 방법에 상관없이 혼합물의 밀도에 달려있다. 밀도가 바인더를 개별 기포를 분리할 수 있는 수준에 도달한다면 형성되는 공극은 폐쇄된다. 그렇지 않으면 폼 콘크리트는 개방된 셀 구조를 갖게 된다.

4.2.2 단열

폼 콘크리트는 주로 단열능력이 우수하기 때문에 인기가 있다. 즉, 건물이 전 생애주기에 걸쳐 에너지 소비의 주요 경로인 건물 운영 단계의 에너지를 절약할 수 있다는 것을 의미한다. 단열에 영향을 미치는 가장 중요한 매개변수 중 하나로서 열전도도(thermal conductivity)는 이러한 재료와 관련된 문헌에서 광범위하게 보고되어 왔다. 이것은 공극, 밀도, 공극포화상태(void liquid saturation state), 바인더 조성 및 충전재의 복합기능이다. 본문 그림 2는 고무, 석회석 및 모래를 필러로 사용하는 3개의 콘크리트와 비교하여 폼 콘크리트의 열전도도를 나타낸다. 샘플의 수분이 측정에 상당한 영향을 미치기 때문에 동일한 배치(Batch)의 샘플에 대해 특정 습도 및 수분 상태에서 열전도도에 대한 측정이 이루어져야 한다.

4.2.3 기계적 특성

폼 콘크리트에 관한 주요 기계적 특성에는 압축강도와 탄성계수가 있다. 폼 콘크리트에 기계적 특성에 영향을 미치는 매개변수에는 공극의 크기와 분포뿐만 아니라 충전재 유형, 물시멘트비 및 양생 절차 등

이 있다. 본문 표 2에는 문헌에 발표된 바와 같이 다양한 배합별 폼 콘크리트의 압축강도 개요를 제시하고 있다. 압축강도는 밀도 범위 360~1400 kg/m³ 상태에서 1~10MPa이며, 탄성계수는 일반적으로 1.7~3.5GPa 범위에 있다. 표 2로부터 발포 방법 및 충전재 유형에 상관없이 폼 콘크리트의 압축강도는 밀도가 감소함에 따라 감소한다는 것이 명백하다. 이것은 다공성 고체재료의 경우처럼 폼 콘크리트의 강도에 그 밀도(또는 공극의 부피)가 중요하다는 것을 의미한다.

5. 지오폐리머 폼 콘크리트의 개발

다음 장에서는 알루미늄실리케이트 기반의 지오폐리머 형성의 일부 기본 메커니즘만 검토한다. 플라이애시 및 메타카올린과 같은 알루미늄실리케이트 전구체로부터 추출된 지오폐리머 폼 콘크리트의 개발이 기본적인 초점이 된다.

5.1 지오폐리머 반응(Geopolymerization)

반응 생성물의 구조와 지오폐리머 반응 메커니즘을 조사함에 있어서 컴퓨터 모델링뿐만 아니라 많은 화학적 및 물리적 분석 기술이 적용되었다. 일반적인 메커니즘은 다음과 같다:

- (1) 알루미늄실리케이트 고체는 강알칼리성 수용액 상태로 용해되며;
- (2) 용해된 알루미늄(Al)과 규소(Si) 그리고 활성화제에 의해 초기에 공급된 임의의 실리케이트는 상호작용하여 올리고머(oligomers)를 형성하고;
- (3) 과포화시스템(supersaturated system)은 침전을 시작하여 겔을 형성하며;
- (4) 지오폐리머 겔이 증가하여 잔류 전구체 입자와 결합하여 고체화된 바인더를 형성하고;
- (5) 겔은 일반적으로 제올라이트와 같은 상태로 보다 안정적인 상태(ordered state)로 끊임없이 변화한다.

이러한 반응 메커니즘은 이제 비교적 잘 파악되었으며 많은 다양한 배합설계와 반응여건 매개변수의 조정에 의해 제어될 수 있다.

5.2 지오폐리머 합성의 중요 이슈

5.2.1 알루미늄실리케이트 전구체: 메타카올린 또는 플라이애시

지오폐리머 특성에 영향을 주는 주요 성분인 알칼리 활성화제 외에도 원료를 선택하는 것은 바람직한 성능을 얻는데 가장 중요한 이유이다. 지오폐리머 합성에 사용되는 두 가지 일반적인 원료는 메타카올린과 플라이애시이며 두 가지 모두 상당한 양의 반응성 비정질 알루미늄(Al) 및 규소(Si)를 함유한다. 메타카올린은 초기 지오폐리머 합성 연구에서 전형적인 원료였으며, 현재는 플라이애시가 건설용으로 쓰임새가 변화함에 따라 가장 인기가 있는 재료가 되고 있다. 메타카올린은 섭씨 500~900도에서 생성되는 카올리나이트 점토($\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$)의 탈수 제품(dehydration product)이다. 판형입자로 구성되어 있는 메타카올린 분말은 잔류결정격자(residual crystal lattice) 상태로 c축에 무질서하게 배열된 상태의 물질(c-axis disordered)이고 4배위 규소(4-coordinated Si)와 다양한 알루미늄 배위환경(coordination environments)으로 되어 있다. 메타카올린은 일반적으로 N₂ 흡착(sorption)으로 측정된 비표면적(specific surface area)이 9~20 m²/g이다. 이에 비해 플라이애시는 대부분 미세한 구형의 유리입자 모양으로 이루어져 있으며 그 표면적은 플라이애시의 소스에 따라 다르지만 0.6~4.2m²/g에 불과하다.

5.2.2 양생 조건 : 실온 또는 열수

지오폴리머 합성에 사용되는 양생 조건은 대기조건(ambient conditions)과 서서히 온도를 섭씨 30~150도까지 올리는 조건이 있다. 고압 및 고진공 조건도 도입되었지만 널리 사용되지 않는다. 양생 조건이 온도 섭씨 10~80도, 1~4시간의 경우에 대한 영향을 조사한 연구 결과 고온에서 금방 조성한 알칼리-메타카올린 혼합물을 처리한 것이 강도발현이 커지지만 이렇게 열처리한 바인더의 28일 강도 발현은 대기조건 또는 약간 온도를 내린 상태에서 처리된 혼합물의 경우보다 상대적으로 작아졌다고 한다. 이러한 결과는 아마도 고온에서 메타카올린의 반응이 제한되기 때문인 것으로 보인다. 지오폴리머 반응의 역학 및 열화학에 대한 최근 연구 결과에 따르면 반응 온도가 섭씨 20도에서 40도로 올라가면 반응속도가 빨라지지만 최종 반응정도는 섭씨 20도에서, 특히 저알칼리 시스템의 경우 더 큰 것으로 나타났다. 한편 고온 양생은 앞서 언급한 바와 같이 메타카올린과 비교하여 대부분의 플라이애시의 반응성이 상대적으로 낮기 때문에 플라이애시 기반의 지오폴리머의 경우에 선호된다. 본문 표3은 플라이애시 기반의 지오폴리머 실험준비에 사용된 전형적인 양생 절차들을 나타내고 있다. 밀봉 및 피복 조건의 양생이 고강도를 얻는데 중요하다는 점에 주목해야 한다.

6. 지오폴리머 폼 콘크리트 개발의 과제

지오폴리머 재료를 시장에 출시하는 것은 많은 기술적 및 산업적 장벽, 예를 들어 내구성에 대한 의구심과 맞춤형 기준의 부재 등의 장벽을 지닌 그 자체로서 하나의 절차라고 할 수 있다. 또한 폼 지오폴리머 콘크리트를 제조하는 것은 단순히 기존 OPC 폼 콘크리트 제조과정을 답습하는 것이 아니다. 아래에 기술된 바와 같이 몇 가지 기존에 잠재적인 문제점들이 있다.

6.1 공급원료의 물적, 화학적 특성에 대한 이해

일반적인 OPC 폼 콘크리트는 모두 표준화된 제품인 포틀랜드 시멘트 또는 혼합 시멘트와 합성될 수 있다. 지오폴리머 폼 콘크리트를 합성하려면 반응성 알루미늄실리케이트 재료가 필요하다. 원료로 사용될 수 있는 광물 및 산업 폐기물을 함유하는 알루미늄실리케이트는 많이 있지만 지오폴리머 생산을 위한 치밀하게 품질관리가 되고 일관된 표준 제품으로 대량으로 이용 가능한 것은 없다. 점토와 플라이애시 이 두 재료는 매우 유망한 원 재료인 것으로 보인다. 점토와 비교하여 플라이애시는 우수한 시공연도를 나타내면서 알칼리성 활성화제가 덜 필요하므로 기술적으로 더 적합할 것이다. 그러나 플라이애시 입자는 물리적 및 화학적으로 상당히 이질적이다: 즉, 입자의 물리적 결함성분(inter-particle speciation)은 어떤 경우에는 유리가 풍부한 반구형 입자, 철이 풍부한 입자, 석영입자로 이루어져 있는 반면에 입자의 화학적 구성성분은 알루미늄실리케이트 유리, 멀라이트(mullite), 석영, 자철광 및 적철광으로 이루어져 있다. 본문 그림 9에 표시된 바와 같이 플라이애시의 구성과 광물, 예를 들어 산화철의 함량은 지오폴리머 고온성능에 큰 영향을 미쳤다. 또한 플라이애시는 그 발생 기원에 따라 아주 다양한 응결 거동(setting behavior)을 가진 재료일 수 있다. 이것은 공극이 가스 방출제 또는 미리 형성된 발포제에 의해 도입되는지 여부에 관계없이 공극구조에 영향을 줄 것이다. 불행히도 현재 지오폴리머 합성에 공급원료 이용에 관한 시방은 아주 제한되어 있다.

6.2 고체 및 폼 타입 지오폴리머 간의 차이점

화학적 관점에서 가스 방출제(gas-releasing agents) 및 예비발포 화학물질(pre-foaming chemicals)이 지오폴리머 반응 시스템(geopolymerisation systems)에 도입될 때, 바인더의 위상 진화(phase evolution)에 관한 그 영향은 알려져 있지 않다. 예를 들어, 알루미늄 분말은 일반적으로 OPC 폼 콘크

리트에 가스방출제로 사용되며 또한 지오폐리머 폼 콘크리트에도 시험되었다. 알루미늄 분말이 H₂ 가스를 방출하면서 용해성 알루미늄을 방출하며 알루미늄의 시간적 가용성을 제어하는 것은 성공적인 지오폐리머 합성에 중요함에 따라, 알루미늄 분말의 사용량 및 반응성(분말도, 표면처리)은 원자 및 나노구조 수준에서 지오폐리머 형성에 영향을 미친다. 그러나 지오폐리머 반응 동역학에 관한 알루미늄 분말과 이의 가수분해 생성물의 효과 및 지오폐리머의 고온 성능에 대한 높은 알루미늄 함량의 효과에 대해서는 계속 연구되어야 할 과제로 남아있다. 또한 페이스트의 높은 점도로 인해 기포가 혼합과정에 끼치는 경향이 있어서 이는 발포효율이 높지 않음을 의미하는 것으로 유기발포제에 의해 형성된 미리 발포된 발포체가 지오폐리머 바인더에 사용될 때 많은 양의 폼이 요구된다는 점에 주목해야 한다. 미세 구조적 관점에서 고체 지오폐리머와 발포된 지오폐리머 간의 차이점도 상당하다. 많은 연구를 통해 재료의 기계적 및 단열 특성에 관한 그 영향뿐만 아니라 OPC 폼 콘크리트의 공극구조를 조사하였지만 지오폐리머 폼 콘크리트의 공극구조에 대한 영향을 제대로 이해하는 연구결과는 아직 제시되지 못해왔다. 고체 및 발포된 지오폐리머 사이의 위상 및 미세 구조적 차이점을 밝혀내기 위한 연구는 여전히 필요하다.

6.3 백화현상의 발생 가능성(Efflorescence potential)

백화는 콘크리트 표면 위 또는 주변에 흰 소금 침전물이 형성된 것이다. OPC 콘크리트의 경우 백화는 변색되는 것을 제외하고는 일반적으로 무해하다. 그러나 지오폐리머의 경우, 기존 시멘트에 비하여 용해성 알칼리 함량이 훨씬 높기 때문에 그 제품이 습기 또는 물과 접촉할 때 백화현상은 상당한 문제가 될 수 있다. Najafi Kani et al. [168]는 백화현상을 감소시킬 수 있는 두 개의 가능한 해결책을 제시했는데 알루미늄이 풍부한 혼합물을 첨가하거나 열수 양생(hydrothermal curing)하는 방법이 그것이다. 이 연구에서 천연 포졸란 계 지오폐리머에 8%의 칼슘 알루미늄 시멘트를 사용하면 알칼리의 이동성이 크게 감소하고 온도 65°C 이상에서의 양생은 백화감소에 상당한 영향을 미쳤다고 했다. 그런데 지오폐리머 폼 콘크리트의 경우 훨씬 높은 총 공극율과 더 큰 공극크기로 인해 백화가 증폭될 것이라 했다. 지오폐리머 폼 콘크리트는 대부분 기후에 노출되는 구조물 용도로 쓰이지는 않지만 백화는 여전히 큰 잠재적 문제점이다. 백화를 예방하거나 최소한 그 가능성을 줄이려면 추가 조사가 필요하다.

7. 결론

전체적으로 건설 산업에 지오폐리머 재료의 적용은 세계 일부지역에서는 상대적으로 급속히 그리고 다른 지역에서는 점진적으로 진행되고 있다. 지오폐리머 폼 콘크리트의 개발은 이러한 재료들이 통상 비구조적인 용도로 사용되고 있으므로 지오폐리머 콘크리트의 내구성 측면에 관한 일부 고려사항들을 피할 수 있을 것이다. 또한 이 새로운 건설 재료를 시장에 출시함으로써 틈새 응용분야에서 지오폐리머 사용을 위한 새로운 길을 열게 될 것이다. 보통포틀랜드시멘트(OPC) 폼 콘크리트에 비해 지오폐리머 폼 콘크리트의 환경적 장점과 고온강도(high temperature strength)가 이 보고서에서 상세히 언급되었다.

공급원료 광물학 및 화학을 이해하고 그에 따라 시방서/표준에 대한 관련 데이터베이스를 구축하는 과정은 지오폐리머의 일관성 및 특성을 관리하도록 현지에서 이용 가능한 재료로 최적의 조성 배합물을 일관되게 배합할 수 있는 중요한 단계이다. 이것은 폼 타입 지오폐리머 콘크리트뿐만 아니라 밀도가 높은 지오폐리머 콘크리트를 위해서도 전용 지오폐리머 공급원료 공급망을 구축하는데 중요하다. 지오폐리머 기술의 예측 가능한 장점뿐만 아니라 오늘날 건설 및 주택 산업에서 지속 가능한 콘크리트에 대한 수요 증가를 고려해 볼 때, 폼 타입 지오폐리머 콘크리트 특성과 구조 사이의 관계를 이해하고, 이러한

제품의 제조와 관련된 문제점, 예를 들어 백화 및 수축과 같은 가장 발생가능한 문제점 들을 명확히 하기 위하여 향후 더 많은 연구가 필요하다. 지오폴리머 제품은 기존 시멘트 제품에 비해 용액성 알칼리 함량이 훨씬 높고 수화포틀랜드 시멘트에 비해 다른 공극구조를 가지고 있고, 제품이 습기 또는 물과 접촉되는 경우 백화가 심각한 문제가 될 수 있다. 알칼리 활성화 바인더의 수축은 이 보고서에서는 상세히 검토되지 않았으나, 많은 연구들에서 다루어져 왔으며 지오폴리머 폼 콘크리트 생산에 또 다른 문제가 될 수 있다.

<원문제목> Geopolymer foam concrete - An emerging material for sustainable construction

<원문출처> University of Southern Queensland, Toowoomba, Australia