무의 생산성 향상, 재무정보의 수평적 · 수직적 통합공유체계를 구축하여 디지털 경영의 기반을 조성하기 위한 목적으로 정보시스템을 구축하였다.

재무정보통합시스템 구축 추진현황은 재무분야에 대한 업무재설계(BPR)와 업무분석(BAA)을 수행한 기본설계용역과 상세설계 및 구현을 수행한 시스템 구축용역으로 추진하였다. 재무정보통합시스템 구축 대상 업무는 재무분야(회계, 자금, 예산, 세무, 계약, 고정자산, 구매, 원가, 자재) 업무 및 이와 관련된 인사, 급여, 후생, 사업분야 등 관련시스템과의 연계업무를 포함하여 대상 업무를 선정하였다.

A사 재무정보통합시스템은 사업계획서상의 개발대상 업무를 정해진 기간에 사용자가 만족하는 시스템으로 개발하였다. 소프트웨어의 품질과 투입한 기간이 같다고 보고 투입한 인력의 절감에 따른 생산성은 36.2% 향상되었다. B부처는 예산업무를 실시간 처리가 가능하도록 개선하기 위해 온라인 예산회계시스템을 구축하였다. 이 경우 소프트웨어 생산성이 33.5% 향상되었다.

그림4. A사 재무통합시스템 적용 예시

그림5. B부처 예산관리시스템 적용 예시

■ 자료 : http://www.synergyCBD.co.kr
■ 자료제공 : 김남곤(건설정보화연구부, 선임연구원)
■ ngkim@kict.re.kr

친환경 · 고성능 지오폴리머 콘크리트 (Geopolymer Concrete)

지난 2월 16일, 온실가스 감축을 의무화하는 교토의정서가 공식 발효되었다. 우리나라는 유엔 기후변화협약에서 개발도상국으로 분류되어 당장 온실가스를 감축할 의무는 없으나 OECD 회원국으로 멕시코와 더불어 온실가스 감축 압력을 받고 있는 실정이다. 현재로서는 2차 의무 감축 대상국이 될 가능성이 높으며, 이에 따라 2013-2017년까지 온실가스를 감축해야 할 것으로 보인다.

2004년 10월 3일 국제 에너지기구(IAE)가 공개한 ' 세계주요에너지 통계' 자료에 따르면 2002년 한 해 동안 선진국들은 (교토의정서를 지키지 않겠다고 선언한 미국도) 배출량이 줄어든 것으로 조사된 반면 한국이 배출한 온실가스, 즉 이산화탄소는 모두 4억 5155만t으로 국가별로는 세계 아홉 번 째이다. 1인당 이산화탄소 배출량도 우리나라는 일본, 영국, 프랑스, 이탈리아를 앞질러 우리의 사정은 더욱 다급한 실정으로, 부존자원이 거의 없고 에너지 다소비형 산업구조를 가진 우리로서는 무엇보다 대체 에너지를 개발하는 것과 더불어

산업구조 전반에 걸쳐 환경친화적 산업으로의 전환이 급선무이다. 이에 건설산업에서도 온실가스를 감축하기 위한 많은 노력이 요구된다.

현재 대부분의 건설현장에서 일반적으로 사용되는 콘크리트는 포틀랜트 시멘트를 결합재로 사용하고 있다. 포틀랜드 시멘트는 제조과정에서 대기 중에 많은 양의 이산화탄소를 배출한다. 시멘트를 제조하는 과정에서 클링커 내 석회석에서 이산화탄소가 제거되는 과정은 아래 식과 같으며, 포틀랜드 시멘트 1톤은 대기 중으로 배출되는 이산화탄소의 양 1톤을 의미한다.

$$5CaCO_3 + 2SiO_2 \rightarrow$$
$$3CaO \cdot SiO_2 + 2CaO \cdot SiO_2 + 5CO_2$$

전세계적으로 포틀랜드 시멘트의 제조량은 해마다 3%씩 증가하고 있다. 포틀랜드 시멘트의 제조과정에서 발생하는 온실가스 배출량은 해마다 약 135만 톤에 이르며 대기 중에 배출되는 전세계 온실가스 배출량의 약 7%를 차지한다. 또한 포틀랜드 시멘트는 알루미늄과 철 다음으로 많은 에너지를 필요로 하는 건설재료 중의 하나이다. 이에 많은 연구자들이 친환경을 지향하는 미래 산업환경의 변화를 고려하여 이산화탄소의 배출을 줄이기 위한 노력과 시멘트를 대체할 수 있는 새로운 재료의 개발에 많은 관심을 기울이고 최근 몇 년에 걸쳐 친환경적인 콘크리트에 대한 많은 연구가 이루어졌다. 그 중 하나는 콘크리트 내에 포틀랜드 시멘트 대신에 시멘트의 많은 부분을 플라이애시로 대체하여 사용하고자 하는 것이었다. 플라이애시는 석탄 연소 전력플랜트에서 석탄을 연소시킬 때 발생하는 부유물질로 만들어진 것으로 오늘날 연간 생산되는 모든 플라이애시의 30%는 다양한 건설관련 용도로 사용되며 콘크리트에 사용되는 양은 이것의 10% 정도이다. 플라이애시의 비율이 증가하면 포틀랜드 시멘트 비율이 낮아지고 이것은 에너지 사용이 적어진다는 것과, 포틀랜드 시멘트를 통해 나오는 이산화탄소가 줄어든다는 것을 의미한다.

■ 지오폴리머 콘크리트

지오폴리머 콘크리트(Geopolymer Concrete)는 결합재로서 포틀랜드 시멘트를 필요로 하지 않는 새로운 개념의 '신재료'이다. 포틀랜드 시멘트를 사용하지 않는 대신에 Si와 Al이 풍부한 플라이애시와 같은 무기물이 알칼리성의 액체에 의해 활성화되어 결합재로서 작용하게 된다. Palomo et al(1999)에 따르면 플라이애시 또는 이와 유사한 재료를 활성화하는 데에는 두 가지 모델이 있다고 한다. 첫 번째 모델은 필수적으로 Si와 Ca를 포함하는 재료가 중·저농도의 알칼리 용액에 의해 활성화되는 것으로 이때 반응생성물은 C-S-H이다. 이와 반대로 두 번째 모델에서 사용되는 재료는 대부분 Si와 Al을 포함하는 재료로 고농도의 알칼리 용액에 의해 활성화되는데, 이 경우에 발생하는 화학적 반응이 중합(Poly-

merization)이다.

첫 번째 모델에 관한 연구는 전 소비에트 연방, 스칸디나비아, 동유럽 여러 나라들에서 오랫동안 연구되어왔으며. 가장 좋은 예가 고로슬래그의 활성화이다. 반면에 두 번째 모델에 관한 연구는 매우 미약하다. 따라서 재료적 특성, 화학적 반응 메커니즘 등의 많은 부분이 아직까지 정립되지 못했다. 두 번째 모델에 의해 생성된, 무기 알루미노 실리케이트 폴리머(Inorganic alumino-silicate polymers)로 알려진 결합재를 Davidovits(1999)가 1978년에‘ 지오폴리머(Geo-polymer) 라고 명명하였으며 이것은 알칼리 활성화 물질이 매타카올린(metakaolin)과 같은 지질구성 재료 또는 플라이애시나 쌀겨재와 같은 부산물로부터 얻어짐을 뜻한다.

지오폴리머(gopolymer)에서 중합과정은 고알칼리 상태에서 Al-Si 광물에 화학적 반응이 일어나서 중합체의 Si-O-Al-O 결합을 구성하는 과정을 의미하며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$M_n[-(Si\text{-}O_2)_z\text{-}A1\text{-}O]_n \cdot wH_2O$

여기서, M은 알칼리 요소이고, (-)표시는 결합이 존재함을 의미한다. 그리고 z는 1, 2 또는 3이고 n은 중합도(degree of polymerization)를 나타낸다.

지오폴리머(gopolymer)의 화학적 구성은 제올라이트(zeolites)와 유사하지만 비결정질의 미세구조를 보인다는 점에서 다르다. 지오폴리머 재료의 구조모델은 여전히 연구 중에 있기 때문에 지오폴리머가 응결, 경화되는 정확한 메커니즘은 아직까지 명확하지 않다.

지오폴리머 콘크리트에서는 시멘트 페이스트 대신에 지오폴리머를 결합재로 사용한다. 지오폴리머 페이스트가 굵은골재와 잔골재 그리고 비반응성 물질을 결합하여 지오폴리머 콘크리트를 형성한다. 제조과정은 일반적인 콘크리트 제조과정과 동일하다. 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트와 마찬가지로 골재가 가장 큰 부피비를 차지하며 질량으로 환산하면 약 75~80%이다. 플라이애시 내의 Si와 Al은 수산화나트륨과 규산화나트륨 용액의 화합물에 의해 활성화되어 결합재로 작용하게 된다. 일반적으로 알칼리성 활성화제로는 수산화나트륨(또는 수산화칼륨)과 규산화나트륨(또는 규산화칼륨)의 화합물이 사용되며, 열이 가해질 경우 지오폴리머 생성 화학반응이 가속화되기 때문에 일반적으로 지오폴리머 콘크리트는 고온에서 양생을 실시한다. 표1은 지오폴리머 콘크리트의 일반적인 배합구성을 나타내고 있다.

표1. 지오폴리머 콘크리트 배합구성

Materials	kg/m^3
Coarse aggregate	1294
Fine aggregate	554
Fly ash	408
Sodium hydroxide solution 8M	41
Sodium silicate solution	103
Super plasticizer	6

표2. 지오폴리머 콘크리트의 역학적 특성

Comressive Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Poisson's ratio
89	30.84	0.16
68	27.29	0.12
55	26.05	0.14
44	22.95	0.13

지오폴리머 콘크리트의 압축강도는 보통강도에서 고강도에 이르기까지 가능하고, 탄성계수는 동일한 굵은골재를 사용하고 포틀랜드 시멘트를 결합재로 사용한 콘크리트와 유사하게 나타나며, 포와송비는 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트의 범위 내 값을 나타낸다. 표2는 다양한 배합에 따른 압축강도, 탄성계수 그리고 포와송비를 표현하고 있다.

장기거동 특성을 살펴보면 지오폴리머 콘크리트는 낮은 양의 크리프와 매우 작은 값은 건조수축량을 보이는 것으로 나타났다. 극한강도의 40%에 해당하는 지속하중 아래에서 24주가 지난 후 건조수축을 측정한 결과 건조수축 변형률이 66×10^{-6}에서 104×10^{-6}까지 변하였으며, 크리프 계수는 0.28에서 0.39사이에서 변하는 것으로 파악되었다. 그리고 내황산염성과 염해저항성에 대해서도 우수한 성능이 입증되었다.

표3. 포틀랜드 시멘트와 지오폴리머의 비교

Ordinary Portland Cement	Geopolymer
High strength	Higher strength in a shorter time
Sensitive to acid, sulphate, seawater	Unaffected by acid, sulphate, seawater
Porosity allows corrosion of reinforcement	Porosity doesn't allow corrosion of reinforcement
Degrades with freeze-thaw cycles	Resistance to freeze-thaw cycles
Poor long term durability	Excellant long term durability
Production generates large amounts of CO_2	Environmentally friendly: no CO_2 produced, recycles waste
Easy transportation of powder, just add water at destination	Transportation of a viscous, corrosive alkali silicate solution
Proven, accepted technology	Unproven, new technology

표3은 일반포틀랜드 시멘트와 지오폴리머의 특성을 비교하여 나타낸 것이다.

■ 맺음말

지오폴리머 콘크리트는 이산화탄소를 배출하지 않는 친환경 · 고성능 콘크리트로서 미래사회가 요구하는 개념에 부합하는 콘크리트이다. 지오폴리머 콘크리트는 활성물질과 활성화제의 화학적 성분에 따라 내화 · 내열 섬유복합체, 밀폐제 등 다양한 분야에서 적용이 가능할 것으로 보이며 또한 낮은 투수성을 가지므로 유독성, 방사성 폐기물의 차단제로도 사용이 가능하고 높은 내구성능으로 해안구조물이나 산성환경 하의 구조물 등에 탁월한 효과를 발휘할 것으로 보인다.

■ 자료 :
1. Malhotra VM., Making Concrete "Greener" With Fly Ash., ACI Concrete International, 1999.
2. Hardjito D et al., Geopolymer Concrete: Turn Waste Into Environmentally Friendly Concrete, International Conference on Recent Trends in Concrete Technology and Structures (INCONTEST), Coimbatore, India, 2003.

■ 자료 제공 : 강수태(구조연구부 연구원)
■ alphard@kict.re.kr