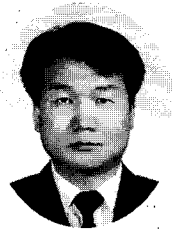
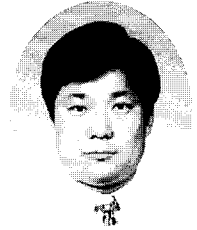


21세기를 대비한 우리의 콘크리트 기준의 방향

- Direction of the Korea Concrete Code for the 21st Century -



정영수*



이차돈**

1. 서 언

콘크리트의 역사는 약 9,000년 정도로 알려져 있다. 즉, BC 7000년경에 단순한 형태의 구조물에 적용되기 시작한 콘크리트는 AD 2000년인 현재에는 매우 복잡한 형태의 주택 디자인에서 다양한 사회기반 시설의 구조물에 사용되고 있다. 그동안 콘크리트는 구성 재료, 기능성 및 적용성 등에 많은 변화를 가져오면서 전 인류 문화를 발전시키는 데 매우 중요한 역할을 해왔다. 오늘날에는 콘크리트가 사회기반 시설, 산업 시설, 심지어는 우주산업 및 정보통신산업의 발전에도 지속적으로 요구되고 있다.

콘크리트는 기본적으로 서로 다른 재료를 집착성 재료로 혼합하여 단단한 고정물로 만드는 것이라 할 수 있다. 1960~1970년경에 우연히 이스라엘의 지질학자들이 1,200만 년 전의 자연 암반 화석에서 현대의 시멘트와 동일한 구성 물질이 있는 것을 발견했다. 이는 매우 흥미있는 일이었으나, 이 자연 암반 화석은 수백 만 년 전에 자연 산화에 의하여 석회석과 유묘혈암 사이의 반응에 의해 형성된 것으로 결론지어졌다. 이와 같이 콘크리트의 역사는 9,000년으로 매우 오래 되었지만 현대의 포틀랜드 시멘트의 역사는 매우 짧다고 할 수 있다. 현대의 포틀랜드 시멘트는 1824년 영국의 J. Aspidin이 수경성 시멘트의 제조 특허를 취득한 이후 장족의 발전을 이루었으며 작금에는

각종 사회기반 시설의 건설 등에 많은 공헌을 하고 있다.

최근에 건설되는 각종 구조물은 복잡화, 다양화된 물론 초대형화 경향을 보이는데 이러한 추세에 부응하기 위해서 철근 콘크리트 구조물에 관련된 설계, 재료 등 각국의 각종 기준들이 21세기를 대비하여 재수정 검토되고 있다. 특히, 21세기에는 전 세계가 글로벌화의 일환으로 정치, 경제뿐만 아니라 심지어는 각국의 문화 등도 획일화되어 고유성이 상실될 정도에까지 이르렀다. 철근 콘크리트 구조물 관련 각종 기준의 추이도 전 세계가 몇몇 지역으로 블록화되어 각 구역별로 관련 기준들을 통합하는 상위 기준의 모델 코드의 작성과 각국의 특성에 적합한 하위 기준의 작성 등으로 전 세계의 철근 콘크리트 관련 각국의 코드를 표준화하고자 하는 운동이 일어나고 있다. 이는 지구 환경을 보호하기 위한 운동의 일환으로 최근의 지구 환경 문제를 심각히 고려하는 'Sustainable Development' 즉, 유산 가능한 지구 개발-지구상의 가치 있는 자원을 다음 세대에 풍부하게 물려주기 위한 세계 각국의 환경 보존 운동의 일환이라고도 할 수 있다. 한편으로 바람직한 운동이지만 선진국들의 개발도상국가들에 대한 기술 식민화의 일환이 아닐까 하는 생각도 든다. 21세기를 대비한 국내의 콘크리트 관련 대책도 이러한 세계의 움직임을 잘 간파하고 준비해야 하리라 사료된다. 우리의 콘크리트 기술에서도 이러한 당면하고 있는 문제를 인식하여 21세기에는 지구 환경 보존 문제를 심층적으로 고려하고 우리의 현실에 적합한 기술 발전에 많은 노력을 경주해야 하리라 판단한다.

* 정희원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수

** 정희원, 중앙대학교 건설대학 건축공학과 교수

21세기를 대비한 향후 20~30년 동안의 국내의 콘크리트 관련 기준의 방향 설정 및 콘크리트 기술 향상을 추진하기 위하여 우선 본 학회지 12권 3호(2000년 5월호)에 “21세기를 대비한 각국의 콘크리트 기준의 방향”을 요약, 정리하였다. 즉, 콘크리트 관련 ACI, JCI, DIN 및 Eurocode에 대해서 요약, 기술하였다. 그리고 본 학회지 12권 5호(2000년 9월호)에 “국내의 콘크리트 기준의 변천사”를 요약, 정리하였다. 마지막으로 이들을 바탕으로 본고에 “21세기를 대비한 우리의 콘크리트 기준의 방향”, 즉 향후 20~30년을 대비한 우리 기준의 방향을 다음과 같이 제시하고자 한다.

2. 주요 콘크리트 기술의 변천사

고대의 콘크리트에 관한 기술적인 자료의 기록은 거의 전해 내려오지 않으며, 우리는 유적을 통한 확인 방법으로 당시의 콘크리트 기술을 추정하여 왔다. 콘크리트 기술의 변천사는 크게 두 시대로 구분할 수 있다. 첫째, 유적으로 확인할 수 있는 기원 전의 콘크리트와 둘째, 현재 우리가 사용하고 있는 포틀랜드 시멘트가 발명된 이후의 콘크리트로 구분된다. 현재 우리가 사용하고 있는 포틀랜드 시멘트는 1824년에 영국의 J. Aspdin이 수경성 시멘트의 제조 특허를 취득한 후 1825년에 본격적인 생산을 시작하였으며, 1848년에 불란서에서, 1850년에 독일에서 연이어 생산하였다. 그리고, 미국에서는 1871년에, 일본에서는 1875년에 생산을 시작하였다.

우리나라에서는 일제 치하에서 1919년에 평안남도의 승호리에 첫 번째의 시멘트 공장이 세워진 이래 74년의 연륜을 쌓아 왔으나, 이는 단지 기록상의 연륜이고 1945년 8.15 광복을 전후한 사회적 혼란, 1950년 6.25 국난 등을 감안하면 실제의 우리의 시멘트산업은 6.25 이후의 약 40여 년이라 할 수 있다. 작금의 우리나라는 연간 약 5,000여 만 톤 이상의 생산 규모를 갖고 세계적인 시멘트 생산 대국으로 부상했으나 시멘트의 기술면에서도 선진국으로의 발돋움을 위해서는 더욱 많은 노력이 필요하리라 판단된다. 특히, 최근에는 지구 환경 보존 문제를 심각히 고려하면서, 우리는 시멘트의 생산 규모보다 질적인 면에서 우위를 점할 수 있는 시멘트 생산 대국으로의 진입이 절실히 필요하다.

〈표 1〉은 오늘날의 시멘트의 발전을 가져 온 1900년까지의 역사적 사건들을 도표화하였다.

3. 콘크리트의 구성 재료

시멘트는 소성 기술의 진보와 소성로 주변 장치의 발달로 안정한 품질로서 대량 생산이 가능하게 되어 포틀랜드 시멘트, 조강 포틀랜드 시멘트, 중용열 포틀랜드 시멘트 등 많은 종류의 시멘트가 생산되고 있다. 우리나라는 현재 연간 약 5,000여 만 톤의 다양한 종류의 시멘트를 생산하고 있다. 그러나, 시멘트의 생산은 환경 파괴 및 이산화탄소의 배출이 불가피하므로 후손에게 물려줄 깨끗한 자연 환경을 위해서는 21세기에는 현재와 같은 시멘트 생산은 최대한으로 억제하면서 고품질의 시멘트를 생산하는 것이 바람직하다. 이를 위하여 최근 국내외에서는 도시 쓰레기를 소성한 부산물을 원료로 한 시멘트의 개발, 폐기된 쓰레기 혹은 플라스틱 등을 연료로 한 고유동 시멘트의 개발, 수화열 억제를 위한 벨라이트계 시멘트의 개발 등 자연 환경을 배려하면서 콘크리트에 요구되는 성능을 만족시키는 시멘트 제조 기술이 절실히 요구된다.

콘크리트의 굵은 골재는 초기에는 천연의 하천 자갈을 이용하였으나, 경제의 고도 성장기인 1970년대 이후에는 자연 환경의 보호는 물론 많은 댐의 건설로 하천 자갈의 고갈을 초래하여 쇄석의 사용 비율이 급속하게 증가하여 현재는 쇄석의 사용이 일반적이 되었다. 그러나, 쇄석의 사용도 환경 보호의 측면에서는 점차로 축소되어야 할 형편이고, 대체 재료로서 해체 철거되는 많은 노후화된 콘크리트 구조물로부터 다시금 골재를 리사이클링(recycling)하는 방안을 최대화해야 한다. 한편, 잔골재도 초기에는 하천사를 사용하였으나 1970년대 이후로 해사 또는 산사의 사용이 불가피하게 되었다. 그러나, 충분히 세척하지 않은 해사의 사용은 염화물 이온을 함유하고 있는 타트로 철근에 부식을 발생시키어 콘크리트 구조물의 조기 열화를 초래하였다. 그리고, 골재 자체로 인한 콘크리트의 열화 현상의 하나인 알칼리-골재 반응도 최근에는 문제시 되었다. 따라서, 환경 파괴를 최소화하기 위해서는 재생 골재를 극대화해야 하나, 노후화된 콘크리트 구조물로부터의 재생 골재의 사용은 생산 비용상의 경제성, 콘크리트 성능의 확보 등 해결해야 할 많은 문제점을 안고 있다. 작금에 재생 골재의 사용이 점차 증대되고 있으나, 산·학·연 공동 연구를 통하여 활용 방안의 확대 및 법적 조치 등이 절실히 요구된다. 21세기의 재생 골재 콘크리트 기술 발전은 많은 기대가 되는 분야라고 판단된다.

표 1. 오늘날의 시멘트의 발전을 가져 온 역사적 사건

년 도	주 요 내 용
AD 1756 Light House	Engineer John Smeaton은 Plymouth의 남서쪽으로 약 22.5km 떨어진 British Channel의 Eddystone Rock위에 세번째 등대를 축조하는 것을 명령받았다. 이전의 두 번의 시공은 모두 목재를 사용하여 축조하였는데, 첫 번째 것은 화재로 인하여 파괴되었고, 두 번째 등대는 강풍으로 인하여 파괴되었다. 따라서, Smeaton은 석재로 시공하는 것이 가장 안전한 방법이라는 사실을 인지하였지만, 당시의 집착성 재료들은 매우 약하고 천천히 경화되는 탓으로 계속적인 파도에 저항할 수 있는 적절한 집착성 재료를 찾을 수 없었다. 그러나, 그는 석회석은 알루미나, 실리카 등과 같은 점토를 포함한 재료와 혼합하면 석회 모르타르가 되어 물 속에서도 경화된다는 사실을 발견하였지만, 석회 모르타르가 그의 문제를 해결하지 못했기 때문에, 그는 마침내 South Wales의 소성 석회석과 이탈리아 tass를 혼합하여 사용하게 되었다. 결국 등대는 소성 석회석과 tass를 혼합한 블록으로 시공되어 1759년에 완성하게 되었으나 1876년경에는 매우 열화되어 후에 Smeaton이 시공했던 것보다 큰 등대가 요구되어 해체하고 새로이 Plymouth Hoe의 유적물로 재시공되었다.
AD 1796 Roman Cement	James Parker 목사는 Kent 지방의 Northfleet에서 로만 시멘트의 특허권을 얻었다. 즉, 불 속에 우연히 돌을 넣었더니 완전히 석회가루로 되는 것을 발견하여, 그들은 석회, 실리카, 알루미나 등을 포함하고 있는 런던 점토로부터 cement stone이 되었다. Parker는 cement stone을 소성로에 넣고 태운 후 파쇄하면 좋은 시멘트성 재료가 된다는 사실을 알았는데 이것이 바로 로만 시멘트이다.
AD 1810 Hydraulic Mortar	소성로 시설의 결함으로 질적인 면에서는 부족하였지만 Edgar Dobbs는 수정성 모르타르, 스테코, 분말 석고 등에 대한 특허권을 얻었다.
AD 1813	Smeaton은 「A narrative of the Eddystone Lighthouse」란 책을 발간하였는데, 이 책은 후에 짧은 벽돌공 Joseph Aspdin에 의해 구독되어 현대의 시멘트 출현의 길잡이가 되었다.
AD 1818 Hydraulic Cement	수경성 시멘트의 특허권은 Murice St. Leger에 의해 이루어졌다. 미국에서의 천연적인 시멘트는 John Smeaton이 발견했던 것과 같은 형태의 콘크리트를 만들기 위한 적절한 양의 점토를 갖고 있는 석회석이었다. 기술자인 Canvass White는 뉴욕의 Madison Country에 석회석이 저장되어 있음을 발견하고, 제조 공정을 추가하여 천연적인 수정성 시멘트를 생산하게 되었다. 그가 생산한 많은 양의 시멘트는 Erie Canal 공사에 사용되었다.
AD 1824 Portland Cement	Joseph Aspdin에 의해 발명된 포틀랜드 시멘트는 콘크리트의 역사의 중요한 이정표라 할 수 있다. 그는 Ground Chalk(이회질)를 카본 dioxide가 분출될 때까지 석회 소성로 안에서 소성함으로써 포틀랜드 시멘트를 생산해 내었다. 그는 1824년 10월 21일에 시멘트 생산 과정에 대한 특허권을 받을 수 있었다. 특히, 이 시멘트가 경화되었을 때의 색깔이 포틀랜드 돌과 유사하여 그는 이것은 포틀랜드 시멘트라 불렀다.
AD 1825 British Cement	Jame Frost는 Swanscombe의 공장에서 로만 시멘트를 인위적으로 만들어 냈는데, 이 시멘트가 널리 알려진 British 시멘트이다.
AD 1825~45 Underwater Tunnel	Isambard Kingdom Brunel은 템즈강의 하저 터널 시공 문제를 당면하고 있을 때, 런던 동부의 Rotherhithe에서 Aspdin의 아들인 William이 시멘트 공장을 설립하였다. Brunel은 터널 천장이 붕괴되었을 때, William의 공장에서 생산된 시멘트를 강에 넣었는데 이것은 뜬채를 봉합하여 터널 내부의 물을 제거할 수 있으므로 포틀랜드 시멘트로 제조된 모르타르를 사용하여 터널을 재시공하였다. 비록 붕괴는 되었지만, 이것이 세계 최초의 수중 터널이었다.
AD 1828~45 Aspdin's First Cement Works	Aspdin은 1823년 Wakefield의 Kirkgate에 그의 첫 번째 시멘트 공장을 설립하였으나, 1838년에 철거되었고, 1843년에 Wakefield의 Inge Road에 두 번째 시멘트 공장을 설립하였다.
AD 1830 Hydraulic Cement in Canada	캐나다에서 석회와 수정성 시멘트가 첫 번째로 생산되었다.
AD 1836 Tensile and Compressive Strength Test	독일에서는 처음으로 시멘트의 인장 및 압축 강도 테스트가 이루어졌다.
AD 1843~45 Building used by Aspdin's cement	Aspdin의 공장의 시멘트를 사용한 구조물로서 "The Wakefield Arms, Kirkgate, Wakefield"가 유일하게 잔존하고 있으며, 이 구조물은 벽돌 조적 공사시 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.
AD 1847 Survived Cement Kiln	William Aspdin은 Northfleet에 또 하나의 시멘트 공장을 세웠다. 시멘트 소성로의 하나가 Blue Circle 공장에 아직도 잔존하고 있다.
AD 1848 Portland Cement Industry	J.D. White와 Sons는 Kent에 유망한 시멘트 공장을 설립하였다. 포틀랜드 시멘트 산업은 영국, 벨기에, 독일 등에서 초기 성장의 황금기를 맞보았다.

표 1.의 계속

년 도	주 요 내 용
AD 1849 Chemical Analysis of Portland Cement	Pettenkofer와 Fuches는 포틀랜드 시멘트를 처음으로 정확하게 화학적으로 분석하였다.
AD 1852 Largest Cement Work	이 시기에 세계 최대의 시멘트 공장이 William Aspdin에 의해 Gateshead에 설립되었다.
AD 1856 Clinker Material	Swanscombe의 시멘트 공장을 경영하고 있는 Issac Johnson에 의해 시멘트 제조 공정은 더욱 세련되어져 갔다. 즉, 클링커 제조 온도까지 소성하는 방안등 이러한 것들은 현대 시멘트 제조 공정의 기초가 되었다.
AD 1860	William Aspdin은 독일에도 시멘트 공장을 설립하였다.
AD 1862 Jaw Crusher	클링커를 분쇄하기 위한 Jaw Crusher가 영국의 Blake Stonebreaker에 의해 소개되었다.
AD 1868 first Shipment to America	유럽에서의 시멘트 수출 생산은 처음으로 미국에 포틀랜드 시멘트를 소개하였다.
AD 1871 First Patent of Portland Cement in USA	David O. Saylor는 미국 내에서 포틀랜드 시멘트의 특허권을 획득하여 펜실베이니아의 Coplory에서 처음으로 포틀랜드 시멘트의 생산을 하였으며, 제조 공정에 클링커의 중요성을 반영하였다.
AD 1880 Importance of Clinker	영국의 J.Grant는 클링커의 경도함과 치밀함이 얼마나 중요한 가를 보여 주었으며, 클링커의 주요 성분에 대한 화학적 분석을 수행하였다.
AD 1886 Rotary Kiln	수직 이동의 소성로 대신 회전식 소성로가 영국에서 처음으로 소개되었다
AD 1900	Incorporation of Portland Cement Manufacturers Ltd. in UK
AD 1904	First Edition of British Standard 12. Specification of Portland Cement

한편, 혼화재가 포졸란으로 호칭되는 이유는 로마 시대에 응회암계의 포졸란으로 불리는 분체를 콘크리트에 혼화하고 있는 것이 그 기원으로서 혼화재의 역사는 매우 오래되었다. 즉, 천연 자연물을 콘크리트에 혼화하는 기술은 매우 오래된 역사를 갖고 있으며 화산회, 규조토, 석회 등이 사용된 바 있다. 산업 부산물로서의 혼화재로서는 최근에 널리 사용되는 플라이 애쉬, 고로 슬래그 미분말, 그리고 최근의 고강도 및 고내구성의 콘크리트를 위한 실리카 폼 등이 있다. 21세기를 대비한 혼화재로서는 자원의 절약 및 지구 환경 보존을 위하여 도시 쓰레기, 각종 슬러지 등의 소각회를 콘크리트의 혼화재로 사용하는 연구, 또한 재생 유리 분말을 혼화재로 이용하는 연구 등 재활용 관련 기술 개발이 활발해지고 많은 기대가 되는 분야이다.

혼화제 발달의 역사는 workability의 확보 또는 내구성의 향상을 목적으로 한 AE제의 사용이 최초이다. AE제 및 감수제는 1930년대에 미국에서 개발되었으며 최근에 널리 사용되고 있는 나프탈렌계의 고성능

감수제는 1960년대 일본에서 개발되어 오늘의 고강도 콘크리트의 실현을 가능하게 하였다. 한편, 1980년대에는 고성능 감수제와 유동화제를 다시금 개조하여 단위수량의 저감에 의한 콘크리트의 고강도화 및 고내구성화를 목적으로 시공성을 개선시키고 있다. 21세기의 혼화제는 철근 콘크리트 구조물이 복잡 다양화, 대형 화됨은 물론 이들 구조물의 공사를 위한 펌프 카 등의 시공 장비 등도 대형화되고 있는 점을 감안하여 콘크리트 공사의 시공성, 고내구성 및 고강도화에 기여할 수 있는 제품의 개발이 필요하다. 특히, 최근에는 철근 콘크리트 구조물의 철근 부식 억제제, 즉 철근 방청제를 위한 화학 혼화제의 개발을 위한 많은 연구가 수행되고 있으며 아직도 100% 신뢰할 수 있는 제품은 개발되어 있지 않으며 계속적인 연구가 필요하다. 한편, 이미 시공된, 그리고 다소 열화된 철근 콘크리트 구조물의 피복 혹은 도포형의 철근 방식제의 개발, 철근 콘크리트 구조물의 보수 보강을 위한 보수제, 방수제 등의 화학 혼화제의 제조에 또한 많은 투자 연구

가 수행되리라 사료된다.

최근에 철근 콘크리트 구조물이 대형화됨에 따라 철근의 품질도 안정화되어야 하며 고강도 철근의 필요성이 제기되며, 대구경의 철근 생산도 필요하다. 21세기에는 고강도 철근의 개발에 관한 많은 연구, 염해에 대한 철근 콘크리트 구조물의 열화 대책의 일환으로 내염성 철근 개발에 관한 연구 등이 진행될 수 있으리라 생각된다. 한편, 염화물이온에 의한 철근의 부식등으로 철근의 대체 재료로서 고인장 강도를 갖는 탄소섬유 등을 재료로 봉 또는 연선 형태로 가공한 연속섬유 보강재를 사용하려는 시도도 계속되리라 생각되며, 이와 관련하여 최근에 Linear Motor Car의 궤도 건설에 사용된 망간계의 저자성 철근 등도 출현하고 있다.

한편, 1952년 Freyssinet 공법의 도입을 시작으로 프리스트레스트 콘크리트 기술은 장족의 발전을 기하여 현재 생산되고 있는 PS 강재로는 PS 강선, PS 강연선, PS 강봉으로 구분되고 있다. PS 강재는 철근의 장점인 연성 성질은 사라지고 대신 고강도의 성능을 갖는 강재로서 21세기에는 대형화되는 구조물의 추세를 감안하여 다소의 연성 성질을 갖는 고강도 긴장재의 개발 혹은 섬유 등에 대한 대체 재료에 관한 연구 개발 등에 많은 노력을 경주해야 하리라 판단한다.

4. 콘크리트의 기준

최근 우리나라에서도 콘크리트 공사를 위하여 동안에 토목 및 건축으로 구별되어 제정된 콘크리트 관련 시방서 및 구조설계기준의 통합을 한국콘크리트학회에서 주도적으로 수행한 바 있다. 이는 우리의 21세기 대비책의 일환이라고도 할 수 있으며 이를 기초로 21세기를 대비한 세계 각국의 전략을 심층 분석하여 우리의 기술 수준의 파악 및 추진 방향을 설정해야 하리라 판단된다. 우리의 콘크리트 기술 선진화를 위하여 우선적으로 추진해야 할 콘크리트 관련 기준에 대한 우리의 당면 과업을 다음과 같이 제시하고자 한다.

- ① 현재에 제정된 통합 콘크리트 관련 시방서 및 구조설계기준에서의 미흡한 점들인 강도 감소 및 하중 증가 계수 등의 통일화, 단위 중량의 설정 등 통합 기준의 사용 방안 극대화
- ② 국내의 콘크리트 관련 기준의 통일, 즉 콘크리트 구조설계기준 및 시방서, 콘크리트 관련 KS 규

준, 기타의 콘크리트 관련 도로교, 철도교, 댐, 항만 구조물 등의 각종의 기준들을 재정비하여 거시적인 통일화 과업

- ③ 국내의 각종 콘크리트 관련 기준들에서 사용하고 있는 용어 및 기호, 구성 체계, 관련 공식의 거시적인 통일화 과업
- ④ 남북 통일을 대비한 남북한 콘크리트 관련 기준들의 심층 분석 및 통일화 과업
- ⑤ 마지막으로, 대륙 진출의 교두보로서 유리한 지정학적 위치를 확보하고 있는 우리나라의 장점을 살리어 국내 관련 code의 세계화 추진, 즉 각종 code의 영문화 사업 및 인터넷을 통한 우리의 콘크리트 기준 및 기술의 국제적 홍보

특히, 상기의 향후 과업들은 과제별 소위원회를 산·학·연 인원으로 구성하여 실질적이고 활발한 활동이 이루어지도록 해야 한다. 특히, 소위원회의 적극적인 과업 추진을 위하여 건설교통부 이하 정부 관련 부처 및 학회의 지원이 절실히 요구된다.

5. 콘크리트의 시공

콘크리트의 배합 설계 방법은 1898년 Feret가 공극시멘트비 및 1918년에 D.A. Abrams가 물시멘트비를 발표한 이후 이론적인 체계가 구축된 것으로 알려져 있으며, 이후 I. Lyse 및 A.N. Talbot 등에 의하여 이론적인 제조 방법이 급격하게 보급되었다. 한편, 철근 콘크리트 구조물은 프랑스의 J.L. Lambot가 1855년 파리세계박람회에 철망 혼입 콘크리트의 소형 선박을 출품한 것이 세계 최초인 것으로 인정되고 있으며, 프리스트레스트 콘크리트는 1886년 미국의 P.H. Jackson과 1888년 독일의 C.W.F. Dohring이 연이어 제안한 이후 건설 분야에서 프리스트레스트 콘크리트의 이용이 급속하게 보급되었다.

그러나, 최근 Maintenance-Free의 장점을 갖고 있는 것으로 인식되어 왔던 철근 콘크리트 구조물에도 조기 열화 현상으로 인한 유지 관리의 필요성이 요청되고 있으며, 이는 콘크리트 구조물의 내구성 증진에 관한 많은 연구가 21세기에는 절실히 필요함을 제시한 것이다. 본 절에서는 콘크리트 구조물의 내구성 향상을 위한 금후의 콘크리트 시공 기술의 장래 방향을 제시하고자 한다.

콘크리트의 배합은 제2차 세계대전 이후에 화학 혼합제의 눈부신 발전과 함께 현저하게 변화되었다. 즉, AE제, 감수제 등의 등장으로 단위 시멘트량을 대폭적으로 감소할 수 있게 되었으며, 최근에는 고성능 감수제, 고유동화제의 등장으로 더욱 더 시멘트의 감소가 가능하게 되었으나 과도한 시멘트량의 감소로 인한 workability의 저하 등을 고려하여 배합 제조된 콘크리트가 경제성, 시공성, 강도 및 내구성 등 각종 요구되는 성능을 만족하는 배합 시공에 관한 연구가 필요하다. 한편, 1903년 독일에서 레디믹스트 콘크리트의 특허권을 획득한 이래로 콘크리트 생산 기술은 매우 큰 변화를 가져왔다. 특히, 레미콘의 개발은 대량 콘크리트의 생산 및 생산의 자동화, 간소화는 물론 압축 강도의 변동 계수도 10% 이하로 품질 관리를 할 수 있게 하였다.

21세기에는 고령자 인구의 증가, 청장년 노동 인구의 감소 및 중노동 기피 현상 등의 사회적 문제가 심하게 대두되어 건설산업 현장에서의 만성적인 노동력 부족 사태가 발생하리라 생각된다. 따라서, 고강도, 고내구성, 고유동성 콘크리트 등의 종합적인 목표를 설정하여 콘크리트의 제조, 타설, 다짐 등이 간소화되고, 가능한 자기 충전성이 크고 재료 분리 저항성 및 유동성이 큰 콘크리트를 배합, 시공하는 기술을 개발해야 하리라 판단한다.

한편, RCD, RCP 등의 초조강 콘크리트, 폴리머 콘크리트, 섬유 보강 콘크리트, 슛 콘크리트 등에 관한 더욱 향상된 기술 개발에 많은 연구 노력이 필요하리라 생각되며, 극심한 환경 하에서의 시공 및 복잡 다양한 콘크리트 구조물의 시공도 가능하도록 건설 로봇 등에 의한 무인화 시공 기술도 필요하리라 예상된다.

6. 콘크리트의 유지 관리

1970년대 시작된 국내의 급속한 경제 성장은 당시에 많은 사회기반 시설의 공사를 조기에 준공하여, 당시에 준공된 많은 콘크리트 구조물이 최근에는 조기 열화등으로 인한 구조물의 안전성에 관하여 사회적 신뢰도가 매우 저하되었다. 또한, 콘크리트 구조물은 Maintenance-Free란 건설 재료의 인식이 사라지고 콘크리트 구조물의 내구성 및 열화 평가에 대한 연구 과업들이 최근에 우선적으로 수행되고 있다. 즉, 콘크리트 구조물도 정기적으로 검사 및 점검을 수행하여

필요에 따라서 보수 보강 공사가 진행되고 있는 현실이다. 이러한 연유로 콘크리트 구조물의 검사 및 점검 방법, 평가 방법, 판정 후의 대책에 관한 연구들이 전기, 전자, 기계 분야 등과 공동으로 수행되는 사례가 증가하고 있으며 대표적인 것으로서 초음파, 전자파, 음향파 등에 의한 비파괴시험법의 콘크리트 구조물에 적용성에 관한 연구가 서서히 증가 추세에 있으며, 21세기에는 매우 활발히 추진되리라 생각한다.

한편, 이들 데이터를 분석, 평가하는 기술로 전자현미경, EMPA 기기 등에 의한 분석 등 다른 분야와의 공동 연구가 제시됨은 물론 이들의 평가 자료를 기초로 콘크리트의 품질, 구조물의 중요도, 사용 조건, 노출 조건, 환경 조건 등의 데이터를 콘크리트 구조물의 설계시 고려하는 새로운 설계 기법에 관한 연구도 수반되리라 생각한다.

7. 결 언

본고에서는 "21세기를 대비한 국내외 콘크리트 기준의 방향"에 대한 특별기고로서 (2000년 5월 및 9월)에 이어 마지막 원고로서 "21세기를 대비한 우리의 콘크리트 기준의 방향"을 제시하였다.

작금에는 전 세계가 글로벌화 움직임의 일환으로 자국의 이익에 맞는 연합 공동체를 구성하고 있다. 즉, 미국을 중심으로 한 북미대륙공동체, 독일, 불란서, 이탈리아 및 영국을 중심으로 한 유럽공동체, 그리고 일본을 중심으로 한 아세안공동체 등 세계 각국은 21세기를 대비하여 활발한 운동을 전개하고 있다. 특히, 21세기의 무한 경쟁 시대를 대비하여 ACI의 발전 전략은 정보, 통신을 통한 기술 보급, 기술 우위 확보 및 기술 향상을 위해서 각종 소위원회의 활동을 적극적으로 추진하고 있다. 일본의 전략은 ASEAN MODEL CODE의 수립과 함께 상위 기준 및 하위 기준의 설정 등을 주도적으로 수행함으로써 아세아에서의 기술 우위를 선점하는 것으로써 이는 점차 가시화되고 있다고 보인다. 이를 위하여 적재적소에 적절한 재료의 사용, 무인 시공 등을 통한 시공 기술의 합리화, 장래의 유지 관리 비용의 절감 방안, 구조물의 수명 연장을 위한 고내구성 콘크리트의 기술 도입 등에 관하여 중점적인 기술 증진 전략을 추진하고 있다. 독일, 불란서, 이탈리아 및 영국을 중심으로 한 유럽공동체의 21세기 대비책은 세계 각국에의 미국의 기술

영향력에 대응하기 위하여 Eurocode를 성사시키었으며 활발한 기술 정보 교류를 통하여 세계 각국에 유럽 공동체의 영향력을 점차로 확대하고 있다. 특히, 21세기 아시아 시장을 확보를 위한 세계 각국의 경쟁은 상상을 초월할 만큼 치열하게 전개되고 있다고 사료된다.

21세기를 대비한 콘크리트 관련 기술의 개발은 자연 환경 보존, 구조물의 대형화 및 복잡화, 청장년 노동 인력의 감소 등의 예상되는 주요한 사실들을 인식하면서 추진되어야 하리라 생각된다. 한편, 콘크리트 구조물도 유지 관리의 필요성이 요구되므로 앞으로의 콘크리트에 관한 기술 개발은 일부 분야만의 단독으로 수행되기에는 많은 어려움이 도출되리라 생각된다. 즉, 전기, 전자, 기계, 화학 분야 등의 관련 다른 분야와의 적극적인 공동 연구가 절실히 요구되리라 생각된다. 21세기를 대비하여 향후 20~30년 동안 우리가 준비해야 할 콘크리트에 관한 주요 예상되는 기술 개발을 다음과 요약하여 결론을 맺고자 한다.

- ① 다음 세대에게 깨끗한 자연 환경을 물려 주기 위한 새로운 콘크리트 재료의 개발, 즉 고품질의 시멘트 생산 및 재활용 산업의 극대화
- ② 청장년층의 노동 인력의 급격한 감소로 인하여 시공성 향상 콘크리트 기술 개발
- ③ 구조물의 복잡화, 다양화 및 극심한 기후 환경 하에서의 시공 가능한 무인화 시공 기술의 개발
- ④ 건설 로봇, 비파괴시험법, 혼화제 등의 개발을 위한 다른 분야 즉, 전기, 전자, 화학, 기계 분야 등과의 적극적인 공동 연구의 활성화
- ⑤ 남북 통일을 대비하여 통일 전후의 각종 기술 자료의 모음 및 주요 사회기반 시설의 총체적인 기획 및 콘크리트 관련 각종 규준의 통일
- ⑥ 마지막으로 전 세계의 글로벌화 운동에 대비하여 우리의 콘크리트 기술의 현재의 위치를 정리하면서 관련 규격 및 기준의 정비 분석 후 우리의 기준 재설정 