

South Korea's Strategic Plan for Achieving Carbon Neutrality by 2050

by Juhyuk Moon, Hun Song, Sungchul Bae, Euicheol Kim, Chaeyong Lim, Jeongsoo Nam, and Jinman Kim

To achieve the goal of suppressing the global temperature rise set in the Paris Climate Change Accord in 2015, carbon dioxide (CO₂) emissions must be reduced by at least 45% compared to 2010, and carbon neutrality (net-zero) should be achieved by 2050. Therefore, many countries have set a nationally determined contribution (NDC) that fits the circumstances of each country. In the case of South Korea, following the 2050 carbon neutrality declaration, the 2030 NDC was raised to 40% compared to 2018. Accordingly, the domestic cement-concrete industry is under pressure to reduce greenhouse gas (GHG) emissions more than ever before to achieve carbon neutrality by 2050.

The South Korean cement-concrete industry produces 50 million tonnes (55 million tons) of cement and about 330 million tonnes (364 million tons) of concrete per year.¹ With regard to carbon emissions, it is estimated that the entire concrete industry emits about 45 million tonnes (50 million tons), which is 6.4% of the entire carbon emissions in South Korea, which is 700 million tonnes (772 million tons), as shown in Fig. 1.² As such, when seen from the viewpoint of carbon emissions, the importance of the South Korean cement-concrete industry is significant. Therefore, the Korean government has designated the cement-concrete industry as one of the key industries that must reduce carbon emissions.

The Green New Deal was declared a key national goal in 2020, and goals by the industry and a concrete technology development roadmap were established in 2021. On behalf of the Cement-Concrete Carbon Neutrality (CCCN) Committee of the Korea Concrete Institute (KCI), this article outlines the present situation of South Korea's policy implementation on carbon neutrality in the cement-concrete field and discusses technological items to realize carbon neutrality.

Strategic Plan for Carbon Neutrality by 2050 Governmental policies in South Korea

In 2009, the South Korean government aspired to reduce domestic CO₂ emissions by 30% by 2020 compared to the



Fig. 1: Cement demand and greenhouse gas (GHG) emissions from the cement industry in South Korea (Note: 1 tonne = 1.1 ton)

domestic business as usual (BAU). However, national GHG emissions in 2010 jumped by more than 10% from the previous year, and the upward trend continued until 2018.

The South Korean GHG emission trading system became effective on January 1, 2015, based on the “Act on the Allocation and Trading of Greenhouse Gas Emission Permits.” On October 28, 2020, President Moon Jae-in declared “carbon neutrality by 2050,” and on December 30, the “long-term low greenhouse gas emission development strategy (LT-LEDS) by 2050” was submitted to the United Nations (Fig. 2). The Ministry of Science and ICT also published “The Direction of Development of Top 10 Core Technologies for Carbon Neutrality.”³ Meanwhile, the “Framework Act on Carbon Neutrality and Green Growth” passed the plenary session of the National Assembly on August 31, 2021 (Fig. 2), and South Korea became the 14th country in the world to legislate the 2050 carbon neutrality vision and implementation system.

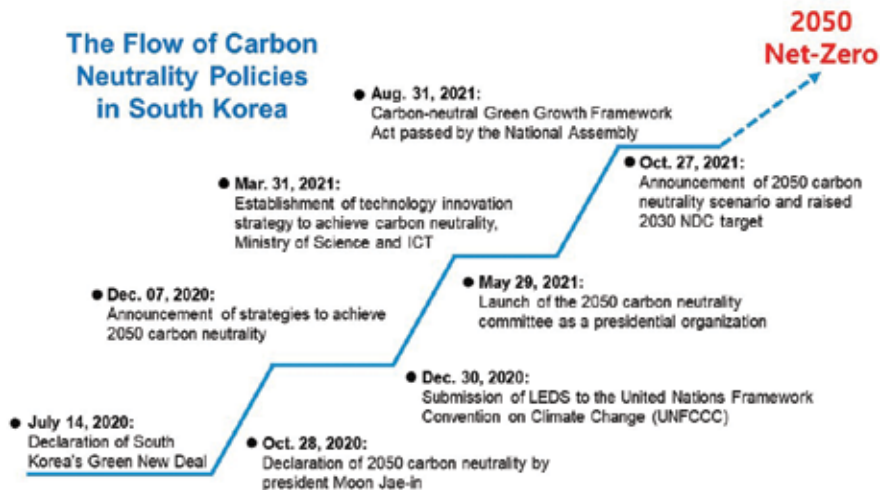


Fig. 2: Progress of South Korea's carbon-neutral policies

In October 2021, the government announced the scenario for carbon neutrality by 2050 and an increased 2030 NDC goal of 40%. Since that time, South Korea has been quickly progressing toward carbon neutrality; and in December 2021, the government allocated 2.68 billion tonnes (3 billion tons) of GHG emission permits to 684 companies designated for allocation in the third planning period (2021 to 2025).

Current Status of South Korea's Cement Industry

Cement is a material that inevitably generates CO₂ because limestone calcination is a basic process for cement production. In the case of South Korea, the production of 1 tonne (1.1 ton) of portland cement emitted 830 kg (1830 lb) of CO₂, and as of 2018, the amount of CO₂ emissions amounted to about 35 million tonnes (39 million tons). However, the fact that the South Korean cement industry undertook efforts to reduce carbon emissions was not well known. Currently, the average carbon emission coefficient of cement in South Korea is 0.77, which is close to the average value of 0.75 in Europe. However, the report published by the Ministry of Science and ICT still classified cement production as a core industry with high carbon emissions, along with steel production.³

According to the 2050 carbon-neutrality scenario plan, fuel conversion and raw material conversion are cited as key reduction measures in the cement industry. In the case of fuel conversion, the plan is to completely replace bituminous coal—60% with waste synthetic resin and 40% with a hydrogen heat source (linked with biomass). Regarding the raw material conversion technology, the idea is to replace about 12% of the raw material limestone with slag cement, or other similar material, and expand the proportion of limestone in mixtures up to 20%. According to this scenario, the government's goal is to reduce emissions by about 53% by 2050. Also, looking at the plan to increase the NDC, which is a voluntary GHG reduction goal, the amount of GHG reduction in 2030 was set to be 12% compared to 2018, and the goal will be achieved by

replacement of 36% of the fuels with plastic waste, replacement of 2% of limestone raw material, and an increase in the proportion of limestone in mixtures up to 15%.

Current Status of South Korea's Concrete Industry

The amount of CO₂ emitted when producing 1 tonne of concrete is about 190 kg (420 lb). In fact, except for the cement production process, CO₂ generated in the concrete-related stages—such as aggregate extraction, concrete manufacturing, and transportation—is at a very low level compared to cement production. The carbon-neutrality policies presented by

the government are limited to cement manufacturing and do not reach concrete production. However, carbon neutrality in the field of concrete is also an important item that should not be overlooked. Even so, because the current situation of concrete manufacturing and construction also faces pressure toward carbon neutrality, the concrete industry should prepare responses to it and changes.

Core Technology for 2050 Carbon Neutrality in Cement Industry

The first process is replacing the raw material limestone with noncarbonate raw materials using slag cement (for example, blast-furnace slag or steelmaking slag), coal ash, and fine powder of waste concrete (Table 1). Most of the previously mentioned industrial by-products are recycled as fill materials and auxiliary materials for road base layers, or simply buried in landfills. The use of noncarbonate raw materials is expected to reduce the overall amount of thermal energy required in the cement clinker calcination process. However, there are a few cases on the change in thermal energy in the preheating and clinker reactions when noncarbonate raw materials are used—technologies that can supplement it should be developed (Fig. 3).⁴

Because about 33% of the entire CO₂ emitted from the cement manufacturing process is generated by the combustion of the fuel, reducing fuel consumption can significantly reduce CO₂ emissions. As a technical means for low-temperature calcination of cement, a mineralizer technology using natural fluorine and a technology using large amounts of industrial by-products with low reaction temperatures are being studied (Table 2).⁵ Although the relevant technologies have been developed and commercialized in other countries,⁶ such technologies remain at the level of basic research in South Korea, which has traditionally avoided the use of large amounts of waste material.

In addition, to reduce CO₂ emissions in the cement industry, it is essential to reduce the quantity of clinker used

Table 1:
Technologies to replace carbonate raw materials (limestone) with noncarbonate resources

Core technology	Subtechnology	Contents
Extensive use of recycled resources to replace limestone	Alternative raw materials for carbonate minerals (limestone)	Pretreatment of noncarbonate raw materials (blast-furnace slag, steelmaking slag, and demolished concrete powder) to replace carbonate raw materials of cement
	Calcination of alternative raw materials for carbonate minerals (limestone)	Use of noncarbonate raw materials and cement manufacturing process using these materials
	Mass production of cement through the use of alternative raw materials in the manufacturing process	Quality control of cement and concrete using alternative raw materials and application to the construction market
	Proof of extensive use of recycled resources to replace limestone	Demonstration of technology for the use of alternative raw materials using cement manufacturing kilns (1 million tonnes/year [1.1 million tons/year] scale), including stabilization of the cement manufacturing process

and increase the quantities of mixtures used. To that end, a high-performance clinker calcination technology should be secured, and applicable mixtures and mixing quantities should be derived (Table 3). Unlike the European Union (EU), in South Korea, because there are no industry standards other than those limitedly applied to three types of blended cement (slag cement, fly ash cement, and pozzolan cement), limestone-mixed cement, limestone calcined clay cement, and multi-component blended cement should be developed. Also, to prevent potential performance degradation in the cement grinding process, it is necessary to develop mixing technology, such as highly efficient grinding agents for those cements.

Because more than 90% of CO₂ emitted in the cement industry comes from the calcination process, a measure to reduce the CO₂ emitted in the calcination stage is also necessary. The CO₂ reaction-hardening cement and product manufacturing technology has excellent applicability because it can directly apply the raw materials limestone (CaCO₃) and silica (SiO₂), which can be easily obtained in South Korea, to the existing cement kiln without changing the process. However, domestic and foreign CO₂ capture and use technologies are in the early stages of basic research and demonstration. In particular, in the case of mineral carbonation, there were many difficulties in the demonstration stage because a large amount of energy is consumed in the pretreatment process to fix CO₂ to the mineral, and the carbonation process takes a lot of time.⁷ However, the CO₂ reaction-hardening cement is highly useful because it enables the application of the carbonation reaction to the secondary concrete products (Table 4).

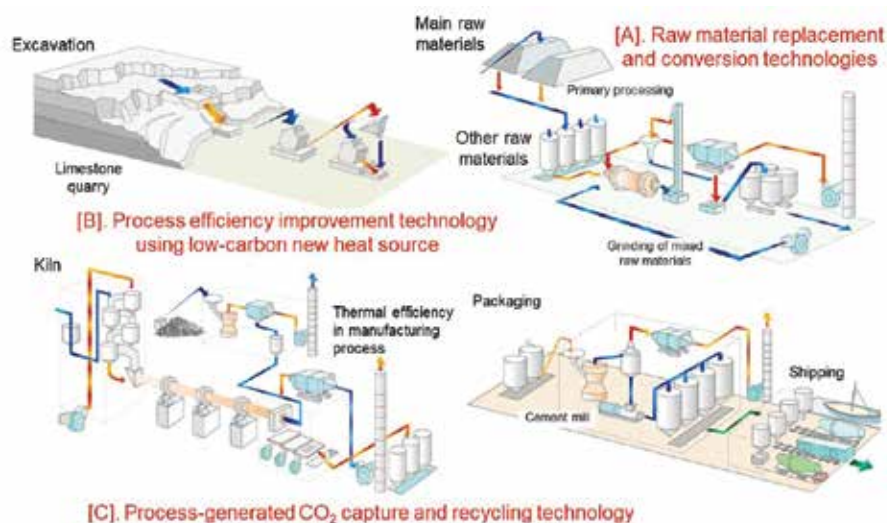


Fig. 3: Cement industry-related core carbon-neutral technologies in South Korea

Core Technology for 2050 Carbon Neutrality

Similar to overseas cases, the cement industry in South Korea continues to develop technologies for replacing recycled fuel. However, the replacement rate is about 23% as of 2018, which is low, as it is about one-third compared to that of Germany.⁸ Meanwhile, plastic waste can be supplied in large quantities among combustible circulating fuels. It has excellent thermal efficiency and is receiving attention as an alternative fuel for cement calcination. For the mass use of plastic waste as an alternative fuel for cement, facility and process optimization technologies for the entire processes, such as chlorine bypass technology, should be secured.⁹

Hydrogen (H₂) is a carbon-free energy source, and technology development and commercialization to use hydrogen in various fields such as transportation, power generation, and steel production are being carried out. However, there are no studies on the use of hydrogen as a fuel for calcination in the cement industry in South Korea. There are many problems with the use of hydrogen as a cement

calcination fuel at the present stage, such as economic feasibility and safety, along with facility and process technologies.

Biomass mainly refers to various algae and plant resources produced by photosynthesis. Because the amount of CO₂ generated during biomass combustion is the same as the amount of CO₂ generated when biomass decays in its natural state, biomass has the advantage of not emitting additional CO₂ when used as a fuel source. Therefore, biomass is

spotlighted as a next-generation fuel source in many fields. In its 2050 roadmap, the European Cement Association has set biomass to 30% out of the 2030 circulating fuel replacement rate target of 60% and 50% out of the 2050 circulating fuel replacement rate target of 90%.¹⁰ Although there are various types of biomass that can be used as fuels, in the South Korean cement industry, there are still few examples of using biomass as a replacement for other fuels due to economic feasibility and technical problems.

Table 2:
Technologies for low-temperature manufacturing of cement using alternative raw materials

Core technology	Subtechnology	Contents
Low-temperature manufacturing of cement using alternative raw materials	Reduction of calcination temperature by applying recycled resources and mineralizer technology	Reduction of calcination temperature using domestic fluorine-based sludge as a mineralizer: mechanism of mineralizer action, influence on environment and human health
	Development of eco-friendly cement using low-carbon raw materials	Manufacture and use of eco-friendly cement based on low-carbon raw materials (including construction of pilot-scale facility and technology demonstration)
	Proof of low-temperature manufacturing of cement using alternative raw materials	Demonstration of low-temperature manufacturing technology for cement containing industrial by-product mineralizers or bulk industrial by-products

Table 3:
Technologies to increase supplementary cementitious material (SCM) contents in cement

Core technology	Subtechnology	Contents
Increase of SCM content in cement	Production of high-performance clinker to increase SCM contents	Clinker manufacturing technology to improve initial strength when SCM content is increased or a high volume of SCM is included
	Development of SCM using unused inorganic resources	Use of unused resources as raw materials for cement and concrete and development of blended cement containing up to 35% of various SCMs
	Commercialization of low-carbon cement using limestone powder	Manufacturing and technology standardization of cement using limestone powder as a substitute material for cement clinker
	Commercialization of low-carbon cement using calcined clay-based minerals	Production of calcined clay to replace cement clinker and commercialization of calcined clay-based low-carbon cement
	Demonstration for increasing SCM content	Demonstration of production methods for high-performance clinker and various SCMs to increase SCM content in cement (1 million tonnes/year [1.1 million tons/year] scale)

Table 4:
CO₂ reaction-hardening and product manufacturing technologies

Core technology	Subtechnology	Contents
CO ₂ reaction-hardening and product manufacturing	CO ₂ reaction-hardening cement manufacturing	Manufacture of CO ₂ -hardening cement using industrial exhaust gas
	CO ₂ reaction-hardening smart curing system	Development of CO ₂ -hardening smart curing system using industrial exhaust gas
	CO ₂ reaction-hardening cement secondary product manufacturing	Development of CO ₂ -hardening low-carbon and high-durability cement secondary products
	Proof of CO ₂ reaction-hardening cement manufacturing	Demonstration of mass production of CO ₂ -hardening cement and secondary products

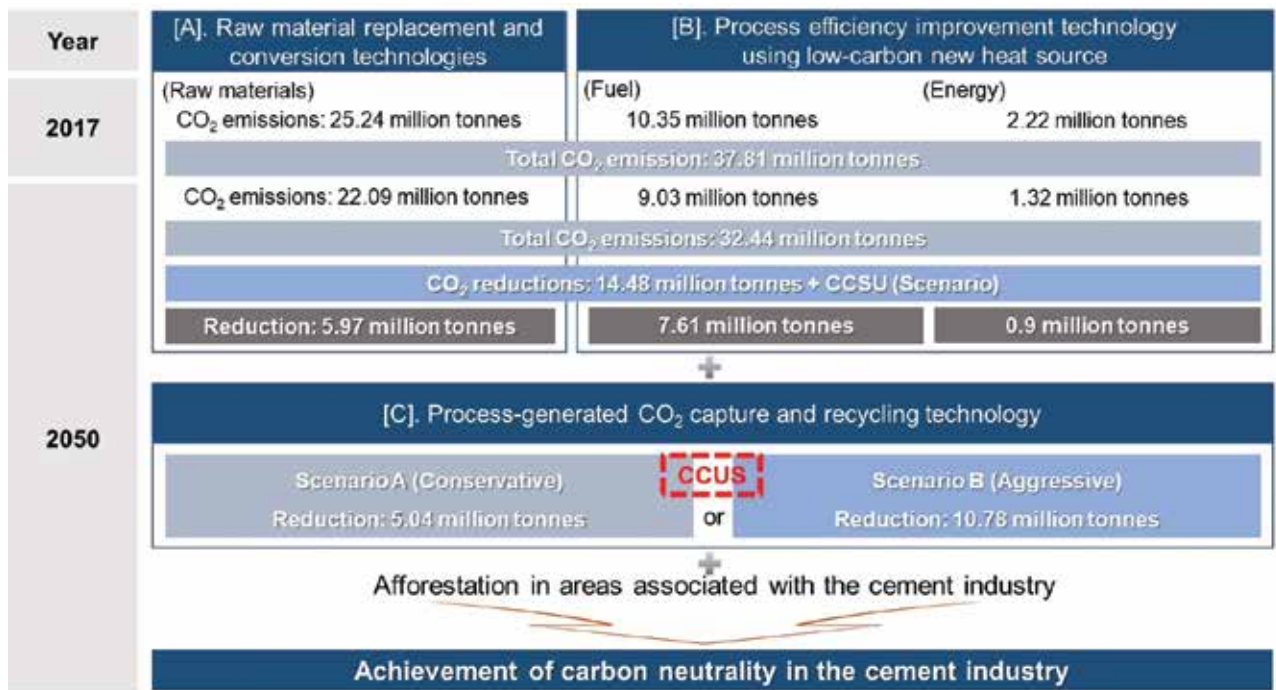


Fig. 4: Roadmap for achieving carbon neutrality by 2050 in the cement industry of South Korea (Note: 1 tonne = 1.1 ton)

Conclusions

On behalf of the CCCN Committee of KCI, the roadmap for cement-concrete carbon neutrality in 2050 in South Korea was reviewed (Fig. 4). To achieve the NDC currently presented, more efforts are necessary compared to other countries, and the efforts should be accompanied by research and development (R&D) investment and policy supports, such as tax reductions and economic incentives. The relevant standards should be urgently established and amended to promote the commercialization of low-carbon cement-concrete materials. Although it has not been mentioned in detail, technologies for carbon capture, utilization, and storage (CCUS) should also be developed. We hope that South Korea can contribute to global cement-concrete carbon neutrality through changes in the cement-concrete-related industries and the development of innovative breakthrough technologies.

Acknowledgments

This article was supported by the Cement-Concrete Carbon Neutrality (CCCN) Committee of the Korea Concrete Institute (KCI).

References

1. Lim, C.; Jung, E.; Lee, S.; Jang, C.; Oh, C.; and Shin, K.N., "Global Trend of Cement Production and Utilization of Circular Resources," *Journal of Energy Engineering*, V. 29, No. 3, Sept. 2020, pp. 57-63.
2. "Development of Low-Carbon Structural Concrete and Energy-Saving Building Materials and Components," Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Goyang, South Korea, June 2017.
3. "Technology Innovation Strategy to Achieve Carbon Neutrality:

The Direction of Development of Top 10 Core Technologies for Carbon Neutrality," Korea Institute of Energy Research, Ministry of Science and ICT, Daejeon, South Korea, Sept. 2021.

4. *Global Climate Change—The Technology Challenge*, Princiotta, F., ed., Springer, Dordrecht, the Netherlands, 2011, 420 pp.

5. Dahhou, M.; El Hamidi, A.; El Moussaoui, M.; and Arshad, M.A., "Synthesis and Characterization of Belite Clinker by Sustainable Utilization of Alumina Sludge and Natural Fluorite (CaF₂)," *Materialia*, V. 20, Dec. 2021, 8 pp.

6. "Use of Wastes and By-Products," Japan Cement Association, Tokyo, Japan, https://www.jcassoc.or.jp/cement/2eng/e_01d.html. (last accessed Apr. 26, 2022)

7. Han, K.; Rhee, C.H.; and Chun, H.D., "Feasibility of Mineral Carbonation Technology as a CO₂ Storage Measure Considering Domestic Industrial Environment," *Korean Chemical Engineering Research*, V. 49, No. 2, 2011, pp.137-150.

8. Waltisberg, J., and Weber, R., "Disposal of Waste-Based Fuels and Raw Materials in Cement Plants in Germany and Switzerland: What Can Be Learned for Global Co-incineration Practice and Policy?" *Emerging Contaminants*, V. 6, 2020, pp. 93-102.

9. Lanzerstorfer, C., "Residue from the Chloride Bypass De-dusting of Cement Kilns: Reduction of the Chloride Content by Air Classification for Improved Utilization," *Process Safety and Environmental Protection*, V. 104, Part A, Nov. 2016, pp. 444-450.

10. "Cementing the European Green Deal: Reaching Climate Neutrality along the Cement and Concrete Value Chain by 2050," The European Cement Association, Brussels, Belgium, 8 pp., https://cembureau.eu/media/w0lbouva/cembureau-2050-roadmap_executive-summary_final-version_web.pdf. (last accessed Feb. 20, 2023)

Selected for reader interest by the editors.



Juhuk Moon is an Associate Professor in the Department of Civil and Environmental Engineering at Seoul National University, Seoul, South Korea. His research interests include multi-scale characterization technologies for cementitious materials, standards for carbon neutrality in cement-concrete industries, and chemical admixture development. He received his

PhD from the University of California, Berkeley, Berkeley, CA, USA, in 2013.



Hun Song is a Chief Researcher with the Carbon Neutral Materials Center of the Korea Institute of Ceramic Engineering & Technology (KICET), Jinju, South Korea. KICET is an affiliated institute of the Ministry of Trade, Industry and Energy. His research interests include the low-carbon transition in the cement industry, low-carbon innovation in cement and concrete production, and resource-friendly

manufacturing using sustainable building materials. He was honored with the KICET Best Technology Transfer Award and the Korean Ceramic Society Academic Progress Award. He received his PhD from The University of Tokyo, Tokyo, Japan, in 2003.



Sungchul Bae is an Associate Professor of architectural engineering at Hanyang University, Seoul, South Korea. His research interests include multi-scale investigations of the structure of cementitious materials using advanced characterization techniques, development of eco-friendly and low-carbon cement, application of nano-reinforcement

materials for cementitious systems, fire resistance of cementitious materials, and three-dimensional (3-D) printing of cement-based materials. He was awarded the 2016 Stephen Brunauer Award from the American Ceramic Society in recognition of his outstanding contribution to research on cement hydrates. He received his PhD from the University of California, Berkeley, in 2014.



Euicheol Kim, Technical Quality Team Leader of the Korea Cement Association, has been conducting research on cement and concrete quality and greenhouse gas policies since 1997. He is a member of the cement expert committee of the National Institute of Technology and Standards, and he is engaged in various activities for carbon neutrality in the domestic

cement sector as a member of the Korea Concrete Institute (KCI) cement manufacturing performance committee, the construction materials council, and as the Secretary of the industrial group environment executive council.



Chaeyong Lim is a Research and Development Manager at Ssangyong C&E Technology Research Center in South Korea. He has been working in the field of cement research and technology for 25 years, including the development of special cements and concretes. Recently, he was involved in research on alternative raw materials, fuels, and cementitious materials for cement

manufacturing to reduce CO₂ emissions. He majored in materials science and technology at Korea University, Seoul, South Korea.



Jeongsoo Nam is an Associate Professor of architectural engineering at Chungnam National University, Daejeon, South Korea. His research interests include the high performance of cement-based composite materials using various waste resources and the development of eco-friendly and carbon-neutral construction materials by recycling industrial by-products. He is researching

the development of geopolymer-based ultra-high-performance concrete using waste glass powder and waste plastic powder. He received his PhD from Chungnam National University in 2013.



Jinman Kim is a Professor at Kongju National University, Gongju, South Korea, and has been conducting research using various industrial by-products and construction demolition wastes as raw materials for cement and concrete since 1997. In particular, he has various research achievements on upcycling that uses waste as a high-value-added resource. He is KCI Vice President and is

engaged in various activities for carbon neutrality in Korea, such as Co-Chairman of the Cement Carbon Neutrality Committee and the Chairman of the Cement-Concrete Carbon Neutrality Committee of KCI.

Plan Estratégico de Corea del Sur para alcanzar la Neutralidad de Carbono para el 2050

Por Juhyuk Moon, Hun Song, Sungchul Bae, Euicheol Kim, Chaeyong Lim, Jeongsoo Nam, and Jinman Kim

Para lograr el objetivo de suprimir el aumento mundial de temperatura fijado en el Acuerdo de París en 2015, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) deben reducirse al menos un 45% con respecto a 2010, y la neutralidad de carbono (cero emisiones netas) se debe alcanzar para el 2050. Por ello muchos países han establecido una contribución determinada a nivel nacional (NDC) que se ajuste a las circunstancias de cada país. En el caso de Corea del Sur, tras la declaración de neutralidad de carbono para el 2050, la NDC para el 2030 se elevó al 40% comparada con el 2018. En consecuencia, para lograr la neutralidad de carbono en el 2050, la industria nacional del cemento y el concreto está bajo presión para reducir más que nunca las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La industria del cemento-concreto de Corea del Sur produce 50 millones de toneladas métricas (55 millones de toneladas) de cemento y unos 330 millones de toneladas métricas (364 millones de toneladas) de concreto al año¹. En cuanto a las emisiones de carbono, se calcula que toda la industria del concreto emite unos 45 millones de toneladas métricas (50 millones de toneladas), lo que supone el 6,4% de todas las emisiones de carbono de Corea del Sur, que es de 700 millones de toneladas métricas (772 millones de toneladas), como muestra la Fig. 1.² Por lo tanto, desde el punto de vista de las emisiones de carbono, la importancia de la industria del cemento y el concreto de Corea del Sur es significativa. Por ello, el Gobierno de Corea del Sur ha designado a la industria del cemento-concreto como una de las industrias clave que deben reducir sus emisiones de carbono.

El Green New Deal fue declarado un objetivo nacional en el 2020, y los objetivos de la industria junto con una hoja de ruta para el desarrollo de la tecnología del concreto se establecieron en el 2021. En nombre del Comité para la Neutralidad de Carbono en el Cemento y el Concreto (CCCN) del Instituto del Concreto de Corea (KCI), este artículo expone la situación actual en Corea del Sur sobre la aplicación de las políticas sobre la neutralidad de carbono en el campo del cemento y el concreto y analiza los elementos tecnológicos para lograr la neutralidad de carbono.

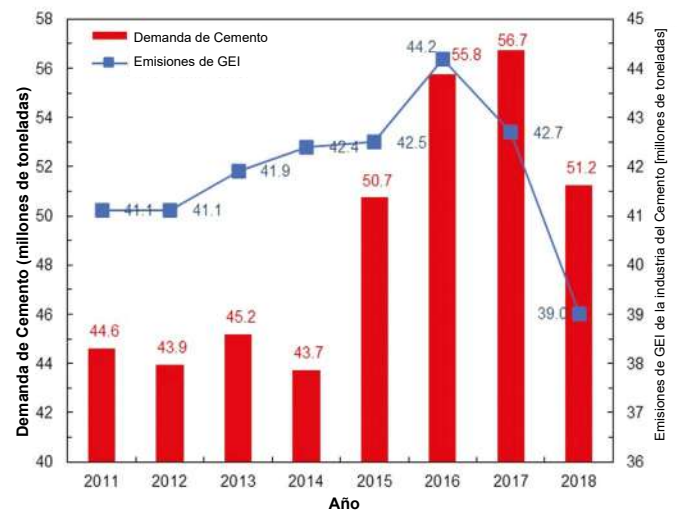


Fig. 1: Demanda de cemento y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la industria del cemento en Corea del Sur (Nota: 1 tonelada métrica = 1,1 toneladas)

Plan Estratégico para la Neutralidad de Carbono en el 2050

Políticas gubernamentales en Corea del Sur

En el 2009, el Gobierno de Corea del Sur aspiraba a reducir las emisiones domésticas de CO₂ en un 30% para 2020 en comparación con escenarios convencionales (BAU). Sin embargo, en 2010 las emisiones nacionales de GEI aumentaron más de un 10% con respecto al año anterior, y la tendencia creciente continuó hasta 2018. El sistema de comercio de derechos de emisión de GEI de Corea del Sur entró en vigor el 1 de enero de 2015, basado en la "Ley sobre la Asignación y Comercio de Permisos de Emisión de Gases de Efecto Invernadero". El 28 de octubre de 2020, el presidente Moon Jae-in declaró la "Neutralidad de carbono para el 2050", y el 30 de diciembre fue presentada a las Naciones Unidas la "Estrategia para bajar emisiones de gases de efecto invernadero a largo plazo (LT-LEDS) para el 2050" (Fig. 2). El Ministerio de Ciencia y TIC también publicó "Línea de Desarrollo de las 10 principales tecnologías para la neutralidad de carbono"³. Por su parte, la "Ley Marco de Neutralidad de Carbono y Crecimiento Verde" fue aprobada por sesión plenaria de la Asamblea Nacional el 31 de agosto de 2021 (Fig. 2), y Corea del Sur se convirtió en el decimocuarto país del mundo en legislar la visión y sistema de ejecución para la neutralidad de carbono a 2050.

En octubre de 2021, el gobierno anunció el escenario para neutralidad de carbono para el 2050 y un aumento de la meta de NDC para el 2030 de 40%. Desde entonces, Corea del Sur ha progresado rápidamente hacia la neutralidad de carbono; y en diciembre de 2021, el gobierno asignó 2,68 mil millones de toneladas métricas (3 mil millones de toneladas) de permisos de emisión de GEI a 684 empresas designadas para asignación en el tercer período de planificación (2021 a 2025).

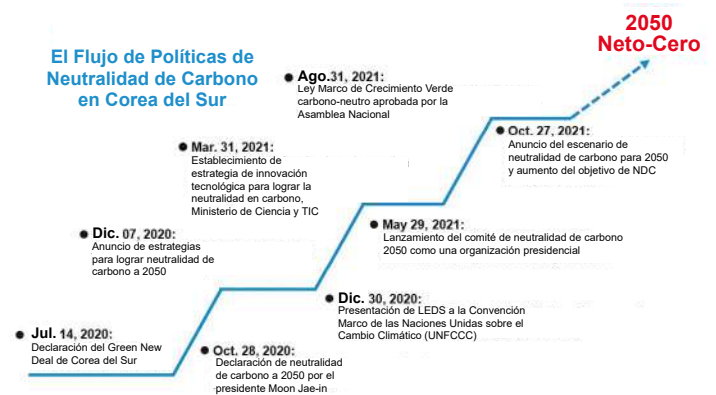


Fig. 2: Progreso de las Políticas de Neutralidad de Carbono de Corea Del Sur

Estado actual de la Industria del Cemento en Corea del Sur

El cemento es un material que inevitablemente genera CO₂ porque la calcinación de la piedra caliza es un proceso básico para la producción del cemento. En el caso de Corea del Sur, la producción de 1 tonelada métrica (1,1 ton) de cemento portland produce 830 kg (1830 lb) de CO₂, y a 2018, la cantidad de emisiones de CO₂ alcanzó alrededor de 35 millones de toneladas métricas (39 millones de toneladas). Sin embargo, el hecho de que la industria del cemento de Corea del Sur realizara esfuerzos para reducir las emisiones de carbono no era bien conocido. Actualmente, el coeficiente promedio de emisión de carbono del cemento en Corea del Sur es 0,77, que está cerca del valor medio de 0,75 en Europa. Sin embargo, el informe publicado por el Ministerio de Ciencia y TIC aún clasificaba la producción de cemento como una industria clave con altas emisiones de carbono, junto con la producción del acero.³

Estado Actual de la Industria del Concreto en Corea del Sur

La cantidad de CO₂ emitida cuando se produce 1 tonelada de concreto es aproximadamente 190 kg (420 libras). De hecho, a excepción del proceso de producción de cemento, la cantidad de CO₂ generada en las etapas asociadas al concreto, como la extracción de agregados, fabricación y transporte del concreto—están en un nivel muy bajo en comparación con la producción de cemento. Las políticas de neutralidad de carbono presentadas por el gobierno se limitan a la fabricación del cemento y no abarcan la producción del concreto. Sin embargo, en el campo del concreto la neutralidad de carbono es también un elemento importante que no debe ser pasado por alto. No obstante, debido a que la producción y construcción del concreto actualmente también se enfrenta a presiones hacia la neutralidad de carbono, la industria del concreto debe preparar las respuestas que ha suscitado y los cambios.

De acuerdo con la planificación de neutralidad de carbono para 2050, la conversión de combustible y la conversión de materia prima se citan como medidas claves de reducción en la industria del cemento. En el caso de la conversión de combustible, el plan es reemplazar completamente el carbón bituminoso: 60% con desecho de resina sintética y 40% con fuente de calor de hidrógeno (vinculada con la biomasa). En cuanto a la tecnología de conversión de la materia prima, la idea es reemplazar alrededor del 12% de la piedra caliza con cemento de escoria, u otro material similar, y ampliar la proporción de piedra caliza en mezclas hasta un 20%. Según este escenario, el objetivo del gobierno es reducir las emisiones en aproximadamente un 53 % para 2050. Además, el plan de aumento de la NDC, que es una meta de reducción voluntaria de GEI, estableció que la cantidad de reducción de GEI en el 2030 será del 12% con respecto al 2018, y la meta se logrará con la sustitución del 36% de los combustibles con residuos plásticos, reposición del 2% de piedra caliza, y un aumento en la proporción de piedra caliza en mezclas hasta un 15%.

Tecnología Base	Sub-tecnología	Contenido
Uso extensivo de fuentes recicladas para reemplazar piedra caliza	Materias primas alternativas a minerales de carbonato (piedra caliza)	Pretratamiento de materias primas sin carbonatos (escoria de alto horno, escoria siderúrgica y polvo de concreto de demolición) para reemplazar las materias primas del cemento
	Calcinación de materias primas alternativas a los minerales de carbonato (piedra caliza)	Uso de materias primas sin carbonatos y proceso de fabricación del cemento utilizando estos materiales
	Producción masiva de cemento a partir de materias primas alternativas en el proceso de producción	Control de calidad del cemento y el concreto utilizando materias primas alternativas y aplicación al mercado de la construcción
	Evidencia del amplio uso de fuentes recicladas para reemplazar la piedra caliza	Demostración de tecnología para el uso de materias primas alternativas empleando hornos de producción de cemento (escala de 1 millón de toneladas métricas/año [1,1 millones de toneladas/año]), incluyendo la estabilización del proceso de fabricación del cemento

Tabla 1: Tecnologías para reemplazar materias primas con carbonatos (piedra caliza) por fuentes sin carbonatos

Tecnologías Clave en la Industria del Cemento para la Neutralidad de Carbono en 2050

El primer proceso es la sustitución de la materia prima de piedra caliza con materias primas sin carbonatos utilizando cemento de escoria (por ejemplo, escoria de alto horno o escoria siderúrgica), cenizas de carbón, y polvo fino de residuos de concreto (Tabla 1). La mayoría de los subproductos industriales mencionados anteriormente se reciclan como materiales de relleno y materiales alternativos como base para carreteras, o simplemente su disposición en rellenos sanitarios. Con el uso de materias primas sin carbonatos se espera una reducción de la cantidad total de energía térmica requerida en el proceso de calcinación del clínker de cemento. Sin embargo, hay muy pocos casos reportados en el cambio de energía térmica en las reacciones de precalentamiento y clínker cuando se utilizan materias primas sin carbonatos, tecnologías que puedan complementarlo deben ser desarrolladas (Fig. 3).⁴

Debido a que alrededor del 33% del CO₂ total emitido por el proceso de fabricación de cemento es generado por la combustión del combustible, reducir el consumo de combustible puede reducir significativamente las emisiones de CO₂. Como medios técnicos para bajar la temperatura de calcinación del cemento, una tecnología mineralizadora usando flúor natural y una tecnología basada en bajas temperaturas de reacción que emplea grandes cantidades de subproductos industriales, están siendo objeto de estudio (Tabla 2).⁵ Aunque las tecnologías relevantes han sido desarrolladas y comercializadas en otros países,⁶ tales tecnologías permanecen en el nivel de investigación básica en Corea del Sur, el cual normalmente ha evitado el uso de grandes cantidades de material de desecho.

Además, para reducir las emisiones de CO₂ en la industria del cemento, es fundamental reducir la cantidad de clínker utilizado y aumentar las cantidades de adiciones usadas. Para ello, se debe asegurar una tecnología de alto rendimiento en la calcinación del clínker, y mezclas aplicables y cantidades de mezclado deben calcularse (Tabla 3). A diferencia de la Unión Europea (UE), en Corea del Sur, dado que no hay ningún estándar de la industria aparte de los que se aplican de forma limitada a tres tipos de cementos adicionados (cementos de: escoria, cenizas volantes y puzolana), el cemento adicionado con piedra caliza, cemento de caliza y arcillas calcinadas, y cemento multicomponente, deben ser desarrollados. Además, para prevenir pérdidas potenciales en el rendimiento asociadas al proceso de molienda del cemento, es necesario desarrollar tecnología de mezclado, como agentes de molienda altamente eficientes para esos cementos.

Dado que más del 90% del CO₂ emitido en la industria del cemento proviene del proceso de calcinación, una medida para reducir las emisiones de CO₂ en la etapa de calcinación se hace necesaria. El CO₂ de la reacción de endurecimiento del cemento y la tecnología de fabricación del producto tienen una excelente aplicabilidad porque se pueden adicionar directamente las materias primas: piedra caliza (CaCO₃) y sílice (SiO₂), que se obtienen fácilmente en Corea del Sur, al horno de cemento existente sin cambiar el proceso. Sin embargo, las tecnologías asociadas a la captura y el uso de CO₂ interno y externo se encuentran en las primeras etapas de investigación básica y

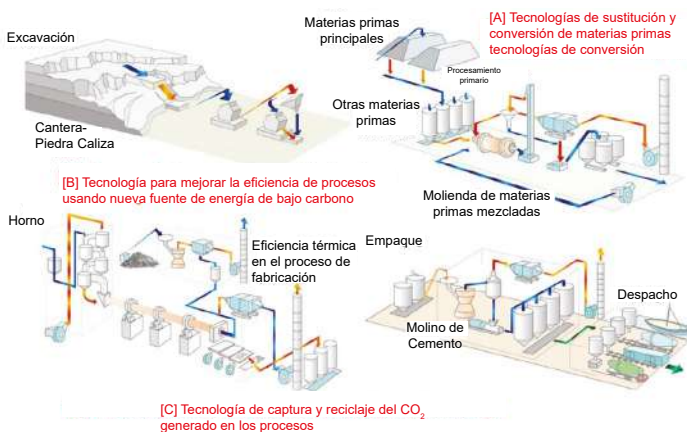


Fig. 3: Tecnologías claves relacionadas con la industria del cemento de carbono-neutral en Corea del Sur

demostración. En particular, en el caso de la carbonatación mineral, pues hubo muchas dificultades en la etapa de demostración debido a que se consume una gran cantidad de energía en el proceso de pretratamiento para fijar CO₂ al mineral, y el proceso de carbonatación toma mucho tiempo.⁷ Sin embargo, el CO₂ de la reacción de endurecimiento del cemento es muy útil porque permite la aplicación de la reacción de carbonatación en los productos secundarios del concreto (Tabla 4).

Tecnología Base	Sub-tecnología	Contenido
Fabricación de cemento a baja temperatura utilizando materias primas alternativas	Reducción de la temperatura de calcinación aplicando materiales reciclados y tecnología con mineralizador	Reducción de la temperatura de calcinación utilizando lodos domésticos a base de flúor como un mineralizante: mecanismo de acción del mineralizador. influencia en el medio ambiente y la salud humana
	Desarrollo de un cemento ecológico utilizando materias primas de bajo carbono	Fabricación y uso de cemento ecológico a base de materias primas de bajo carbono (incluye la construcción de instalaciones a escala piloto y demostración de la tecnología)
	Evidencia de fabricación a baja temperatura de cemento utilizando materias primas alternativas	Demostración de la tecnología de fabricación de cemento a baja temperatura que contenga mineralizadores industriales o subproductos industriales a granel

Tabla 2: Tecnologías para la fabricación de cemento a baja temperatura utilizando materias primas alternativas

Tecnología Base	Sub-tecnología	Contenido
Incrementar el contenido de MCS en el cemento	Producción de clínker de alto rendimiento para aumentar el contenido de MCS	Tecnología de fabricación del clínker para mejorar la resistencia inicial cuando el contenido de MCS se incrementa o se incluye un alto volumen de MCS
	Desarrollo de MCS utilizando materiales inorgánicos de fuentes sin utilizar	Aprovechamiento de fuentes no utilizados como materia prima para cemento y concreto y desarrollo de mezclas de cemento que contengan hasta un 35% de varios MCS
	Comercialización de cemento de bajo carbonousando polvo de piedra caliza	Estandarización de la fabricación y tecnología del cemento utilizando polvo de caliza como material sustitutivo del clínker de cemento
	Comercialización de cemento de bajo carbono utilizando minerales a base de arcillas calcinadas	Producción de arcilla calcinada para reemplazar el clínker de cemento y comercialización de cemento bajo en carbono a base de arcilla calcinada
	Demostración del aumento en el contenido de MCS	Demostración de métodos de producción de clínker de alto desempeño y varios MCS para aumentar el contenido de MCS en el cemento (escala de 1 millón de toneladas métricas/año [1,1 millones de toneladas/año])

Tabla 3: Tecnologías para aumentar el contenido de material cementante suplementario (MCS) en el cemento

Tecnología Base	Sub-tecnología	Contenido
Fabricación de productos y reacción de endurecimiento de CO ₂	Fabricación de cemento por reacción de endurecimiento por CO ₂	Producción de cemento por reacción de endurecimiento por CO ₂ utilizando gases de combustión
	Sistema de curado inteligente de endurecimiento por reacción de CO ₂	Desarrollo de un sistema de curado inteligente de endurecimiento por CO ₂ utilizando gases de combustión
	Fabricación de productos secundarios de cemento de endurecimiento por reacción de CO ₂	Desarrollo de productos secundarios del cemento de endurecimiento por CO ₂ de bajo carbono y alta durabilidad
	Evidencia de fabricación de cemento de endurecimiento por reacción de CO ₂	Demostración de la producción en masa de cemento endurecido con CO ₂ y productos secundarios

Tabla 4: Tecnologías de fabricación de productos y endurecimiento por reacción de CO₂

Tecnologías Clave para la Neutralidad de Carbono en 2050

Similar a las experiencias en otros países, la industria del cemento en Corea del Sur continúa desarrollando tecnologías para reemplazar el combustible reciclado. Sin embargo, la tasa de reemplazo es de alrededor del 23% desde el 2018, que es bajo, ya que es aproximadamente un tercio en comparación con Alemania.⁸ En cambio, los residuos plásticos se pueden suministrar en grandes cantidades entre los combustibles circulantes. Estos tienen excelente eficiencia térmica y están recibiendo atención como un combustible alternativo para la calcinación del cemento. Para el uso masivo de residuos plásticos como combustible alternativo para cemento, tecnologías de planta y optimización para todos los procesos, como la tecnología de derivación de cloro, debe ser asegurada.⁹

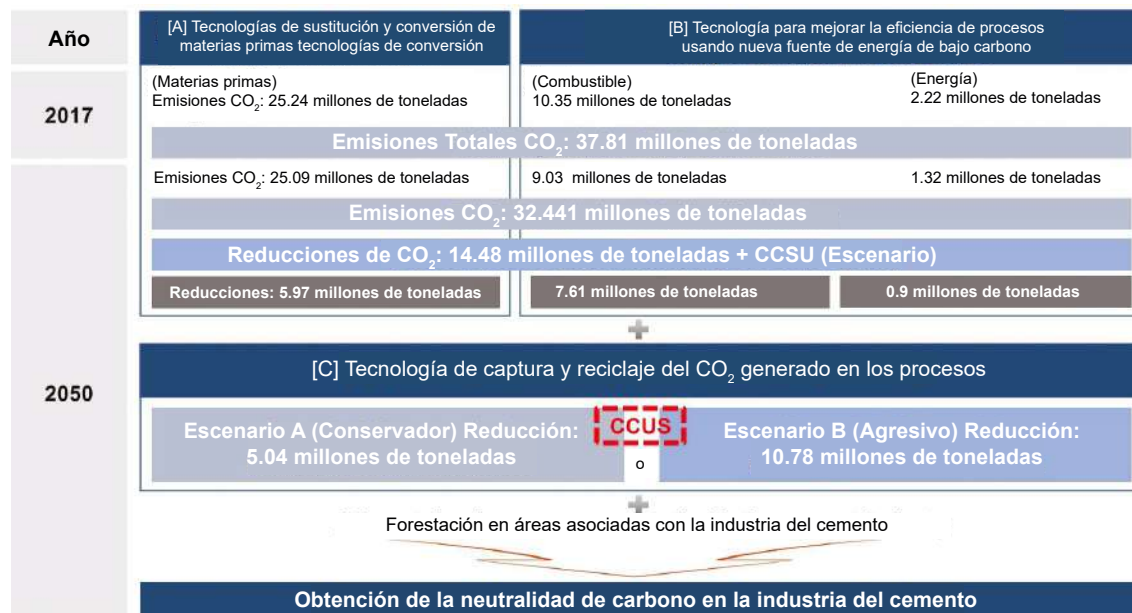


Fig. 4: Hoja de ruta para lograr la neutralidad de carbono para 2050 en la industria del cemento en Corea del Sur (Nota: 1 tonelada métrica = 1,1 tonelada)

El hidrógeno (H_2) es una fuente de energía libre de carbono, y actualmente se están realizando avances en el desarrollo y comercialización de tecnologías para utilizar hidrógeno en varios campos como el transporte, la generación de energía, y la producción de acero. Sin embargo, no existen estudios sobre el uso del hidrógeno como combustible para la calcinación en la industria del cemento en Corea del Sur. Hay muchos problemas con el uso de hidrógeno como combustible para la calcinación del cemento en la etapa actual, tales como su factibilidad económica y seguridad, junto con las tecnologías de planta y proceso.

La biomasa se refiere principalmente a diversas algas y recursos vegetales producidos por la fotosíntesis. Debido a que la cantidad de CO_2 generado durante la combustión de biomasa es la misma que se genera cuando la biomasa se descompone en su estado natural, la biomasa tiene la ventaja de no emitir CO_2 adicional cuando se utiliza como fuente de combustible. Por lo tanto, la biomasa se destaca como una fuente de combustible de futura generación en muchos campos. En su hoja de ruta para 2050, la Asociación Europea del Cemento ha establecido biomasa al 30% del reemplazo de combustible circulante de la tasa objetivo de 60% al 2030 y 50% del combustible circulante de la tasa de reemplazo objetivo del 90% al 2050.¹⁰ Aunque hay varios tipos de biomasa que se pueden utilizar como combustibles, en la industria del cemento de Corea del Sur, todavía hay muy pocos ejemplos de uso de biomasa como reemplazo de otros combustibles debido a viabilidad y problemas técnicos.

Conclusiones

En nombre del Comité CCCN de KCI, la hoja de ruta para la neutralidad de carbono del cemento-concreto en 2050 en Corea del Sur, fue revisada (Fig. 4). Para lograr el NDC actualmente presentado, son necesarios más esfuerzos en comparación con otros países, y los esfuerzos deben ir acompañados de investigaciones y apoyo a las políticas e inversiones para el desarrollo (I+D), como reducciones de impuestos e incentivos económicos. Normativas pertinentes deben establecerse urgentemente para promover

la comercialización de materiales de cemento-concreto con bajas emisiones de carbono. Aunque no ha sido mencionado en detalle, tecnologías para la captura, utilización y el almacenamiento de carbono (CCUS) también se deben desarrollar. Esperamos que Corea del Sur pueda contribuir a la neutralidad global de carbono del cemento-concreto a través de cambios en las industrias relacionadas con el cemento-concreto y el desarrollo de tecnologías innovadoras de vanguardia.

Agradecimientos

Este artículo fue apoyado por el Comité para la Neutralidad de Carbono en el Cemento-Concreto (CCCN) del Instituto del Concreto de Corea (KCI).

Referencias

1. Lim, C.; Jung, E.; Lee, S.; Jang, C.; Oh, C.; and Shin, K.N., "Global Trend of Cement Production and Utilization of Circular Resources," *Journal of Energy Engineering*, V. 29, No. 3, Sept. 2020, pp. 57-63.
2. "Development of Low-Carbon Structural Concrete and Energy-Saving Building Materials and Components," Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Goyang, South Korea, June 2017.
3. "Technology Innovation Strategy to Achieve Carbon Neutrality: The Direction of Development of Top 10 Core Technologies for Carbon Neutrality," Korea Institute of Energy Research, Ministry of Science and ICT, Daejeon, South Korea, Sept. 2021.
4. *Global Climate Change—The Technology Challenge*, Princiotta, F., ed., Springer, Dordrecht, the Netherlands, 2011, 420 pp.
5. Dahhou, M.; El Hamidi, A.; El Moussaouiti, M.; and Arshad, M.A., "Synthesis and Characterization of Belite Clinker by Sustainable Utilization of Alumina Sludge and Natural Fluorite (CaF_2)," *Materialia*, V. 20, Dec. 2021, 8 pp.
6. "Use of Wastes and By-Products," Japan Cement Association, Tokyo, Japan, https://www.jcassoc.or.jp/cement/2eng/e_01d.html. (last accessed Apr. 26, 2022)
7. Han, K.; Rhee, C.H.; and Chun, H.D., "Feasibility of Mineral Carbonation Technology as a CO_2 Storage Measure Considering Domestic Industrial Environment," *Korean Chemical Engineering Research*, V. 49, No. 2, 2011, pp.137-150.

8. Waltisberg, J., and Weber, R., "Disposal of Waste-Based Fuels and Raw Materials in Cement Plants in Germany and Switzerland: What Can Be Learned for Global Co-incineration Practice and Policy?" *Emerging Contaminants*, V. 6, 2020, pp. 93-102.
9. Lanzerstorfer, C., "Residue from the Chloride Bypass De-dusting of Cement Kilns: Reduction of the Chloride Content by Air Classification for Improved Utilization," *Process Safety and Environmental Protection*, V. 104, Part A, Nov. 2016, pp. 444-450.
10. "Cementing the European Green Deal: Reaching Climate Neutrality along the Cement and Concrete Value Chain by 2050," The European Cement Association, Brussels, Belgium, 8 pp., https://cembureau.eu/media/w0lbouva/cembureau-2050-roadmap_executivesummary_final-version_web.pdf. (last accessed Feb. 20, 2023)

Seleccionado por los editores para el interés del lector.



Sungchul Bae es Profesor Asociado de Ingeniería Arquitectónica en la Universidad Hanyang, Seúl, Corea del Sur. Sus intereses de investigación incluyen investigaciones de la estructura de materiales cementantes utilizando avanzadas técnicas de caracterización, desarrollo de cemento ecológico y de bajo carbono, aplicación de materiales de nano-refuerzo para sistemas cementantes, resistencia al fuego de materiales cementantes e impresión tridimensional (3-D) de materiales a base de cemento. Fue galardonado con el Stephen Brunauer 2016 Premio de la American Ceramic Society en reconocimiento a su destacada contribución a la investigación sobre los hidratos de cemento. Él recibió su doctorado de la Universidad de California, Berkeley, en 2014.



Hun Song es Investigador Jefe en el Centro de Materiales para Carbono Neutro del Instituto Coreano de Ingeniería Cerámica y Tecnología (KICET), Jinju, Corea del Sur. KICET es un instituto afiliado al Ministerio de Energía, Industria y Comercio. Sus intereses de investigación incluyen la transición a bajo carbono en la industria del cemento, innovación de bajo carbono en la producción de cemento y concreto y fabricación con recursos amigables de materiales de construcción sostenibles. Él fue galardonado con el premio KICET a la Mejor Transferencia de Tecnología y el Premio al Avance Académico de la Sociedad Coreana de Cerámica. Él recibió su doctorado de la Universidad de Tokio, Tokio, Japón, en 2003.



Chaeyong Lim es un Investigador y Gerente de Desarrollo en Ssangyong C&E Centro de Investigación Tecnológica en Corea del Sur. Ha estado trabajando en el campo de la investigación y la tecnología del cemento durante 25 años, incluyendo el desarrollo de cementos y concretos especiales. Recientemente, se involucró en la investigación sobre materias primas alternativas, combustibles, y materiales cementantes en la producción de cemento para reducir las emisiones de CO₂. Se especializó en tecnología y ciencia de los materiales en la Universidad de Corea, Seúl, Corea del Sur.



Juhuk Moon es Profesor Asociado en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental en la Universidad Nacional de Seúl, Seúl, Corea del Sur. Sus intereses de investigación incluyen las tecnologías de caracterización a escala múltiple para materiales cementantes, estándares para la neutralidad de carbono en industrias del cemento-concreto y desarrollo de aditivos químicos. Él recibió su Doctorado de la Universidad de California, Berkeley, Berkeley, CA, EE. UU., en 2013.



Euicheol Kim, Líder del Equipo de calidad técnica de la Asociación de Cemento de Corea, ha estado investigando sobre el cemento y calidad del concreto y políticas de gases de efecto invernadero desde 1997. Es miembro del comité de expertos en cemento de la Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología, y se dedica a diversas actividades para la neutralidad de carbono en el sector del cemento como miembro del Instituto de Concreto de Corea (KCI)-Comité de Producción del cemento, Consejo de materiales de construcción y como secretario del grupo industrial consejo directivo de medio ambiente.



Jeongsoo Nam es Profesor Asociado de Ingeniería Arquitectónica en la Universidad Nacional de Chungnam, Daejeon, Corea del Sur. Sus intereses de investigación incluyen el alto rendimiento de los materiales compuestos a base de cemento utilizando varios desechos y el desarrollo de materiales de construcción eco-amigables y carbono-neutral mediante el reciclaje de subproductos industriales. Él está investigando en el desarrollo de concretos de ultra alto desempeño a base de polímeros utilizando polvo de vidrio y polvo de plástico de desecho. Recibió su doctorado de la Universidad Nacional de Chungnam en 2013.



Jinman Kim es profesor en la Universidad Nacional Kongju, Gongju, Corea del Sur, y ha estado realizando investigaciones usando varios subproductos industriales y residuos de demolición de la construcción como materias primas para cemento y concreto desde 1997. En particular, tiene varios logros de investigación sobre upcycling que utiliza los residuos como un recurso de alto valor añadido. Es vicepresidente de KCI y participa en diversas actividades para la neutralidad de carbono en Corea, como co-director del Comité de Carbono Neutralidad del Cemento y el Presidente del comité de Carbono Neutralidad del KCI.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Colombia

Título: Plan Estratégico de Corea del Sur para alcanzar la Neutralidad de Carbono para 2050



*Traductora:
Ph.D Margareth Josefina
Dugarte Coll*



*Revisora Técnica:
Ph.D Daniela Martínez*