



## 국내·외 시멘트 관련 품질 표준 동향

강인규\* · 신상철 · 김진만

<공주대학교>

### 1. 서 론

최근 국제사회는 지구 온난화로 인한 폭염, 폭설, 태풍 등 기후변화 문제의 심각성을 인식하고 ‘탄소중립’이라는 큰 목표를 실현하기 위해 에너지, 산업, 수송 등 각 분야에서 다양한 정책을 추진하고 있다. 국내에서도 이러한 국제사회의 그린뉴딜 움직임에 발맞추어 2020년 7월 한국형 뉴딜을 발표해 그린뉴딜을 핵심 국정 목표로 설정하였고, 같은 해 10월에는 ‘2050 탄소중립’을 선언하였다. 한편, 시멘트 업계에서는 2021년 2월 시멘트 그린뉴딜 위원회의 출범식을 개최하고 “2050 시멘트업계 탄소중립 도전 공동 선언문”을 발표함으로써 국가정책 방향에 맞춰 적극적인 대응을 하고자 노력하고 있다.

현재 시멘트 산업의 탄소 배출량은 2019년 기준 39백만 톤으로 산업계 총 발생량의 11%, 국내 총 발생량의 5.5% 수준으로 단일 사업으로서는 매우 높은 배출량을 나타내고 있다. 이중 약 83.2%가 시멘트 클링커를 생산하는 소성 공정에서 발생하고 있다. 따라서 클링커의 생산량 및 사용량을 줄이는 것은 탄소중립 실현을 위한 가장 효과적인 방법이며, 이를 위해 시멘트 대체 재료(SCMs, Supplementary Cementitious Materials)를 사용함으로써

클링커 계수가 낮은 저탄소 혼합시멘트를 적극적으로 생산하고 활용해야 한다.

현재 국내 포틀랜드 시멘트 및 혼합시멘트 관련 KS 규정은 JIS와 ASTM을 단순 카피한 수준에서 크게 벗어나지 못하기 때문에, 현재의 기술 수준과 환경적 요구를 담아내기에는 한계가 있다. 한편, 유럽 등 해외 선진국에서는 이미 수십년 전부터 환경문제에 대응하기 위해 시멘트 산업 관련 규정을 개정하여 왔다. 따라서 해외 사례를 통해 이미 기술적으로 검증된 아이템의 경우 조속히 도입하여 국내에서 제도화할 필요가 있으며, 이러한 해외 사례를 충분히 참고함과 동시에 국내 실정을 고려한 시멘트 및 혼합시멘트 표준의 단계적 제·개정이 필요한 상황이다.

이에 본 논문에서는 각국의 시멘트 관련 표준을 비교·검토하였으며, 현시점에서 논의가 필요한 국내 시멘트 관련 KS 개정 방향에 대해 정리하였다.

### 2. 각국의 시멘트 관련 표준 현황

#### 2.1 유럽

Table 1은 유럽 시멘트 기준 EN197-1<sup>1)</sup>에서 구분하고

Table 1. The 27 products in the family of common cement (EN197-1<sup>1)</sup>)

Main types	Types of cement (total 27 products)		Types of admixture	Clinker factor
CEM I	Portland cement	1	Cement clinker	0.95~1.00
CEM II	Portland slag cement	2	Blast furnace slag	0.65~0.94
	Portland silica fume cement	1	Silica fume	0.90~0.94
	Portland pozzolana cement	4	Pozzolana(natural&calcined)	0.65~0.94
	Portland fly ash cement	4	Fly ash(siliceous&calcareous)	0.65~0.94
	Portland burnt shale cement	2	Burnt shale	0.65~0.94
	Portland limestone cement	4	Limestone(L&LL)	0.65~0.94
	Portland composite cement	2	Any admixture	0.65~0.88
CEM III	Blast furnace cement	3	Blast furnace slag	0.05~0.64
CEM IV	Pozzolanic cement	2	Silica fume, Pozzolana, Fly ash	0.45~0.89
CEM V	Composite cement	2	Blast furnace slag + Pozzolana, Fly ash(siliceous)	0.20~0.64

있는 시멘트의 종류를 나타낸 것이다.

유럽의 시멘트는 CEM I 부터 CEM V 의 5종으로 대부분 되고, 사용재료의 품질과 사용량에 따라 총 27종의 시멘트로 분류하고 있다. 세부적으로 28일 압축강도를 기준으로 32.5, 42.5, 52.5 MPa의 3수준으로 나누고, 각각 일반형(N)과 조강형(R)으로 구분하여 6등급의 강도등급을 두고 있다. 또한, 고로 슬래그를 사용하는 CEM III의 경우에만 지연형(L) 등급이 설정되어 있다. 따라서 상기 분류법에 의해 총 171종의 보통 시멘트를 규정하여 수요처에 다양한 선택지를 제공하고 있다. 특히, CEM II는 총 19종으로 매우 폭넓게 규정하고 있으며, CEM II에 사용되는 혼합재량은 6~35%로 혼합재량을 최대로 했을 경우 클링커 계수는 0.65 정도의 매우 낮은 수준임을 알 수 있다. 추가적으로 CEM II-Portland composite cement, CEM IV, CEM V에서는 시멘트 클링커에 2종류 이상의 SCM을 혼합한 시멘트에 대해서도 규정하고 있으며, 그 사용량 또한 함께 명시하고 있다.

IEA 보고서에 의하면<sup>2)</sup> 현재 유럽에서 판매 중인 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트보다 혼합시멘트의 비율이 훨씬 높으며, CEM II가 47%로 가장 높고 그 중에서도 절반 이상은 석회석 미분말 시멘트(CaCO<sub>3</sub> 75%이상, 6~35% 혼합가능)가 차지하고 있다.

따라서 유럽은 SCMs를 사용한 시멘트를 세분하고 제품화하여 클링커의 사용량을 대폭으로 줄임으로써 시멘트의 혼합재 증대를 통한 탄소중립에 대한 노력은 매우 모범적인 사례로 평가된다.

## 2.2 미국

미국에서는 ASTM C150-Portland Cement<sup>3)</sup>와 C595-Blended Hydraulic Cements<sup>4)</sup>에서 포틀랜드 시멘트와 혼합시멘트에 대해 규정하고 있으며 그 세부 항목을 Table 2에 나타내었다.

ASTM C150<sup>3)</sup>에서는 I(보통), II(내황산염- moderate performance), II MH(중용열), III(조강), IV(저열), V(내황산염-high performance)으로 나누고 일부에 대해서는 AE 시멘트를 적용하여 총 10종의 포틀랜드 시멘트를 규정하고 있으며, 강도 등급의 경우 IV종과 V종을 제외한 모든 시멘트에 대해 초기강도(1, 3, 7일)만을 기준으로 설정하고 있다. 혼합재의 경우, CaCO<sub>3</sub> 함량이 70% 이상인 석회석 미분말을 최대 5%까지 사용할 수 있고 여기에 한 종류의 무기 혼합재에 대해서만 5% 이하로 추가할 수 있다고 규정하고 있다. 하지만 석회석 미분말을 사용한 포틀랜드 시멘트의 강열감량은 3.5%로 엄격하게 제한하여 관리하고 있다.

한편, ASTM C595<sup>4)</sup>에서는 시멘트 클링커에 고로슬래그, 포졸란, 석회석 미분말 등 SCM을 혼합한 혼합시멘트에 대해 규정하고 있고, 2종의 SCM을 사용하는 Ternary blended cement에 대해서도 자세히 다루고 있다. 각각의 혼합시멘트에 있어 허용되는 최대 사용량은 혼합시멘트 중량 대비 고로슬래그 95% 이하, 포졸란 40%이하, 석회석 미분말 15%이하로 제한하였다. 그 외 다수의 표준을 통해 플라이애시, 포졸란, 슬래그 시멘트, 실리카흙, 분쇄유리 등에 대해 규정하고 있고, 혼합 SCM 및 ASCM (Alternative Supplementary Cementitious Materials)<sup>5)</sup> 평가기준에 대해서도 규정하고 있어 시멘트 및 콘크리트용 혼합재에 대해 매우 다양한 범위에서 접근하여 제도적 기반을 마련해 두고 있다.

## 2.3 일본

JIS에서는 시멘트를 크게 포틀랜드 시멘트, 혼합시멘트(고로 시멘트, 실리카 시멘트, 플라이애시 시멘트), 에코 시멘트로 분류하고 있으며, JIS R 5210<sup>6)</sup>에서는 보통, 조강, 초조강, 중용열, 저열, 내황산염으로 구분하고 각각에 대하여 저알카리형을 추가하여 총 12종의 포틀랜드

**Table 2.** Portland cement and blended cement as specified in ASTM C150<sup>3)</sup> and C595<sup>4)</sup>

Standrad	Types	Detail of specifications
ASTM C150 <sup>3)</sup>	Type I	For use when the special properties specified for any other type are not required
	Type II	For general use, more especially when moderate sulfate resistance is desired
	Type II (MH)	For general use, more especially when moderate heat of hydration and moderate sulfate resistance are desired
	Type III	For use when high early strength is desired
	Type IV	For use when a low heat of hydration is desired
	Type V	For use when a low heat of hydration is desired
ASTM C595 <sup>4)</sup>	Type IS	Portland blast furnace slag cement shall be a hydraulic cement in which the slag constituent is up to 95 % by mass of the blended cement
	Type IP	Portland-pozzolan cement shall be a hydraulic cement in which the pozzolan constituent is up to 40 % by mass of the blended cement
	Type IL	Portland-limestone cement shall be a hydraulic cement in which the limestone content is more than 5 % but less than or equal to 15 % by mass of the blended cement
	Type IT	Portland cement or Portland clinker mixed with two mixtures of cement

**Table 3.** Based on the content of blended materials of blended cement in Japan

Standards	Composition (percentage by mass)		
	Type A	Type B	Type C
Blast furnace cement (JIS R 5211) <sup>8)</sup>	5~30	30~60	60~70
Pozzolanic cement (JIS R 5212) <sup>9)</sup>	5~10	10~20	20~30
Fly ash cement (JIS R 5213) <sup>10)</sup>	5~10	10~20	20~30

시멘트에 대해 규정하고 있다.

2009년 개정에서 포틀랜드 시멘트의 소량혼합성분으로 석회석을 5%까지 허용하고 강열감량을 3%에서 5%로 변경하였으며, 석회석을 혼합재로 사용할 경우, 탄산칼슘 90% 이상, 산화알루미늄 함량 1% 이하의 품질을 만족해야 한다고 명시되어 있다.

Table 3은 일본의 혼합시멘트 표준에서 허용되는 혼합재량을 나타낸 것이다. 혼합시멘트 규격에 의하면, 고로시멘트의 혼합재 함유량은 최대 70%, 실리카 시멘트와 플라이애시 시멘트의 혼합재 함유량은 최대 30%로 규정하고 있다. 한편, 석회석 혼합 시멘트의 경우, 2001년 일본 시멘트 협회 석회석 미분말 전문위원회에서 석회석 필러 시멘트의 표준정보(TR)안을 작성하여 표준을 제정하려 하였으나, 심의과정에서 기각되어 현재 석회석 미분말 혼합시멘트에 대한 규정은 제정되어 있지 않다.

현재 일본은 2014년 기준 혼합 시멘트 생산량이 전체의 20% 정도로 혼합 시멘트 사용에 대해 아직까지는 소극적인 모습을 보이고 있으나, 최근의 연구동향을 살펴보면 환경문제를 해결하고자 하는 노력에 큰 힘을 쓰고 있어 머지않아 기술 확보 및 관련 규정의 개정이 예상된다.

## 2.4 국내

국내의 KS L 5201<sup>7)</sup> 포틀랜드 시멘트는 보통, 중용열, 조강, 저열, 내황산염 등 1~5종으로 세분화되어 있다. 2013년에는, 강화가 예상되는 기후변화협약에 대응하고 시멘트 산업의 경쟁력 제고를 위한 에너지 소비절감 및 온실가스배출 감축형 시멘트 필요하다는 배경 하에서, 고로슬래그, 포졸란, 플라이애시 중 한 종류 5%, 석회석 미분말 5% 이내로 혼합할 수 있도록 혼합재의 사용량을 확대개정하였다. 하지만 이 개정은 혼합재량을 단순 증대시킨 것이기 때문에 일부 연구자들은 포틀랜드 시멘트의 성능이 저하될 수 있다고 지적하고 있다.

혼합시멘트의 경우, KS L 5210 고로슬래그 시멘트<sup>11)</sup>, KS L 5211 플라이애시 시멘트<sup>12)</sup>, KS L 5401 포졸란 시멘트<sup>13)</sup> 규격이 제정되어 있지만, 실상은 고로 슬래그 시멘트만이 전체 시멘트 생산량의 19%를 점유하는 수준이

다. 혼합시멘트에 대한 표준 제·개정은 전혀 이루어지지 않았고 다양한 혼합재로 구성된 다성분계 혼합시멘트 규격은 전무한 실정이다. 따라서 탄소중립이라는 궁극적인 목표를 달성하기 위해서는 저탄소 혼합시멘트의 개발 및 상용화, 표준화를 위한 연구가 매우 시급한 상황이다.

## 3. 국내 KS 개정 방향

상기 각국의 시멘트 관련 표준 현황을 검토한 결과 국내의 경우 시멘트 및 혼합시멘트에 대한 표준이 유럽 등 해외 선진국에 비하여 미비한 실정이다. 본 논문에서는, 국내 시멘트 관련 KS의 내용 중 논의가 필요한 제·개정 아이템을 크게 포틀랜드 시멘트, 시멘트 대체재, 혼합시멘트의 측면에서 정리하였다.

### 3.1 포틀랜드 시멘트 관련 제·개정 항목

#### 3.1.1 석고 및 혼합재의 종류 다양화

현재 포틀랜드 시멘트에 클링커 이외에 사용하는 재료는 석고와 고로슬래그, 포졸란, 플라이애시, 석회석으로 규정되어 있다. 하지만 석고의 종류에 대한 명료한 정의가 없어 포틀랜드 시멘트의 품질관리에 어려움이 따르므로 포틀랜드 시멘트의 제조에 사용 가능한 석고를 규정할 것인가에 대한 논의가 필요하다. 또한 기존 사용되고 있는 혼합재를 제외한 소성점토, 건식 플라이애시, 괴재 고로슬래그 등이 시장에 유통될 것으로 예측되므로 이러한 재료들이 시멘트의 혼합재로 사용하도록 할 것인가에 대한 검토가 필요할 것이다.

#### 3.1.2 혼합재량의 개정

국내 OPC의 혼합재 기준은 석고 5%, 석회석 미분말 5%, 기타 5%, 합계 15%로 유럽 등 해외 표준과 비교하면 혼합시멘트 수준이다. 여기서 혼합재량을 더 증대시킬 경우 클링커 계수가 0.85에서 더 줄어들어 품질 저하가 우려되기 때문에 국제적으로 포틀랜드 시멘트로 인정받지 못할 가능성이 높다. 현재 유럽의 경우 CEM I-Portland cement의 혼합재는 석고만 5% 이하로 사용하고 있고 CEM II에서 혼합재량을 폭넓게 규정하고 있다. 따라서 포틀랜드 시멘트와 혼합시멘트의 표준을 따로 제정하여 수요처의 요구수준에 따라 시멘트를 선택할 수 있는 환경을 조성할 필요가 있으며, ASTM C595<sup>4)</sup>와 같이 대표적인 SCM을 사용한 혼합시멘트 규격을 추가하여 제정하는 방법도 고려할 필요가 있다.

### 3.2 시멘트 대체재 관련 제·개정 항목

#### 3.2.1 콘크리트용 플라이애시 규정 개정

국내 KS L 5405<sup>14)</sup>에서 규정하고 있는 플라이애시에서는 SiO<sub>2</sub> 함량이 45% 이상인 실리카계 F급 플라이애시만 다루고 있기 때문에, C급 석회질계 및 N급 천연 포졸란

과 같은 플라이애시를 준용하는 것에는 어려움이 따른다. 반면 EN197<sup>1)</sup>과 ASTM C618<sup>15)</sup>에서는 석회질계 C급 플라이애시, 천연 및 소성 포졸란에 대해서도 규정하고 있으므로 이러한 해외 사례를 참고하여 C급, N급 플라이애시의 추가 여부와 이에 대한 품질 기준 등 국내 표준 개정 검토가 필요하다.

### 3.2.2 무기계 순환자원 활용 혼합재 규정 제정

현재 고로슬래그, 플라이애시, 포졸란은 기존 KS에 그 기준이 제정되어 있지만, 석회석 미분말, 소성점토 미분말, C급 플라이애시, 건식 바텀애시 미분말, 괴재슬래그 등 무기계 미활용 순환자원의 기준은 아직 제정되어 있지 않은 상황이다. 따라서 상기 재료들을 SCM으로 활용하기 위한 물성 검토 및 혼합재 적용 가능성을 평가할 필요가 있다.

## 3.3 혼합시멘트 관련 제·개정 항목

### 3.3.1 석회석 미분말 시멘트 규정 제정

콘크리트용 혼합재로서 아직까지 국내에서는 석회석 미분말의 활용이 미비하며 그 품질기준 또한 제정되어 있지 않은 실정이다. 반면 유럽과 북미에서는 석회석 미분말 시멘트를 제조하여 상용화하는 것이 이미 핵심 트렌드로 자리 잡았고, 유럽에서 판매 중인 혼합시멘트의 시장 점유율은 약 70%인데, 그 중에서도 석회석 미분말 시멘트가 큰 비중을 차지하고 있다. 특히 모든 시멘트 제조공장에서 간단히 입수 가능한 재료인 만큼 국내 실정을 고려한 석회석 미분말의 품질기준 설정과 제조 방법에 대한 검토, 사용량에 따른 품질 검토 및 기준 설정이 필요할 것으로 판단된다.

### 3.3.2 다성분계 혼합시멘트 규정 제정

현재 유럽과 미국에서는 두 종류 이상의 SCM을 사용하여 다양한 혼합 비율을 갖는 혼합 시멘트에 대한 규정이 제정되어 있다. 유럽 EN197<sup>1)</sup>의 CEM II/A-M 및 CEM II/B-M은 무려 9가지의 재료를 최대 35%까지 혼합할 수 있도록 규정하고 있으며, 미국의 ASTM C595<sup>4)</sup>의 Type IT-Ternary blended cement에서는 두 종류의 다른 포졸란, 슬래그와 포졸란, 포졸란과 석회석, 슬래그와 석회석을 클링커에 혼합하여 사용하도록 규정하고 있고 각 재료의 최대 함량 또한 제정되어 있다. 이와 같이 유럽과 미국 등 해외 선진국은 다양한 혼합 비율을 갖는 혼합시멘트를 통해 수요처에 다양한 선택지를 제공하고 있는 반면 국내에서는 혼합시멘트 중 고로슬래그 시멘트만이 전체 시멘트 생산량의 약 19%를 점유하는 수준에 그

치고 있다. 따라서 다양한 조합을 고려한 다성분계 혼합시멘트의 KS 규격 기반 물성 실험과 혼합재의 최적 조합 도출을 위한 기술 개발이 필요할 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

시멘트 품질에 대한 표준의 제·개정은 현재 직면하고 있는 지구온난화, 에너지 문제 등의 환경문제를 해결할 수 있는 방향으로 추진되어야 하며 탄소중립을 대전제로 하여 움직여야 한다. 유럽 등 해외 선진국에서는 이미 수십 년 전부터 환경문제에 대응하기 위해 시멘트 산업 관련 규정을 개정하여 왔으며, 특히 산업 부산물을 활용한 저탄소 혼합시멘트를 주축으로 시멘트를 세분화하고 다양한 SCM을 사용하여 이를 상용화하고 있다. 한편 국내의 경우 외국 기준과 비교하였을 때 시멘트 관련 규정의 개정이 필요하며 특히 혼합시멘트 관련 표준의 제·개정은 매우 시급하게 논의되어야 할 과제이다. 국내 시멘트 관련 KS 표준의 제·개정 방향은 세계적인 흐름에 따라 탄소중립 실현에 부합하는 방향으로 추진함에 가속을 더해야 할 것이다.

## <참고문헌>

1. BS EN 197-1:2011, Cement Part 1:Composition, specifications and conformity criteria for common cements
2. Favier Aurélie, De Wolf Catherine, Scrivener Karen, Habert Guillaume, A sustainable future for the European Cement and Concrete Industry\_Technology assessment for full decarbonisation of the industry by 2050, 2018, p. 25-26
3. ASTM C 150/C150M-20, Standard Specification for Portland Cement
4. ASTM C 595/C595M-20, Standard Specification for Blended Hydraulic Cements
5. Konstantin Sobolev, Marina Kozhukhova, Kosmas Sideris, Esperanza Menéndez, Alternative Supplementary Cementitious Materials
6. JIS R 5210:2009, ポルトランドセメント
7. KS L 5201:2016, 포틀랜드 시멘트
8. JIS R 5211:2009, 高セメント
9. JIS R 5212:2009, シリカセメント
10. JIS R 5213:2009, フライアッシュセメント
11. KS L 5210:2017, 고로 슬래그 시멘트
12. KS L 5211:2019, 플라이 애시 시멘트
13. KS L 5401:2017, 포졸란 시멘트
14. KS L 5405:2018, 플라이 애시
15. ASTM C 618-19, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete