

북한의 시멘트 물성 및 시멘트 산업현황에 관한 연구

Status of Cement Industry and Cement Properties of North Korea

백정훈¹ · 박원준^{2*} · 민태범³

Cheong-Hoon Baek¹ · Won-Jun Park^{2*} · Tae-Beom Min³

(Received January 20, 2020 / Revised March 9, 2020 / Accepted March 9, 2020)

The purpose of this study was to evaluate the North Korea cement industry and technology status by comparing and analyzing the cement standards and properties of South and North Korea. In the literature study, data on North Korea's cement industry and standards were collected and analyzed through the Ministry of Unification's North Korea Data Center and other agency. The facilities, classification, and quality standards of South and North Korea cements were compared. In an experimental study, a survey on the quality of cement in North Korea was carried out through physical and chemical analysis experiments by obtaining a small amount of cement from North Korea, and compared with domestic cement. As a result, North Korea cement was of lower quality than South Korean cements. North Korea cement had lower C_3S and higher C_2S than South Korea cement, especially the residue content was much higher. In addition, North Korea cement had about 50% of the compressive strength of cement in South Korea because the clinker was not fired at a sufficient temperature due to the poor performance of the cement facilities in North Korea.

키워드 : 북한, 시멘트, 시멘트산업, 시멘트 물성, 시멘트 기준

Keywords : North Korea, Cement, Cement Industry, Cement properties, Cement standard

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

한반도 평화체제 구축과 북한의 대외 개방은 향후 한국 경제에 새로운 활력으로 작용할 것으로 예측되고 있다(Kim et al. 2019). 남북한의 경제협력 활성화 초기 단계에서 모든 산업 부문 중 특히 건설 인프라 부문에서 대규모 수요가 발생할 것으로 전망되고 있다(Kim et al. 2019). 또한 북한의 사회간접자본에 대한 최소한의 투자에 기인하여 건설 인프라의 노후화 수준이 심각함에 따라 향후 한반도 통일 시 북한 시설물을 대상으로 수행되는 건설인프라 재건사업은 한국의 새로운 성장 동력이 될 것으로 기대되고 있다(Park et al. 2015). 하지만 건설분야의 남북한 경제개발 협력 및 북한 건설 인프라의 개선을 위한 대응전략 마련에 있어서 북한

건설의 정확한 실태파악이 전제되어야 함에도 불구하고, 관련 연구는 극히 미비하며 신뢰성이 부족한 것이 사실이다. 그동안 북한의 토지정책이나 주거실태 등에 관한 연구는 다수 수행되었으나, 북한 건설의 기술수준에 관한 연구는 거의 전무한 상태이다. 특히 건설 인프라 구축에 있어서 근간이 되는 건설재료의 기준 및 질적 수준에 대한 조사나 연구는 정보 접근의 한계로 인하여 일반 탈북자를 대상으로 하는 정성적 응답을 통한 실태파악이 대부분을 이루고 있거나 기존연구의 재인용 등의 연구방법을 채용하고 있어 심도 있는 기술 수준을 파악하는데 한계를 지니고 있다.

이에 본 연구에서는 건설분야의 대표적인 건설재료인 시멘트를 대상으로 북한의 시멘트 기준과 원재료 및 산업현황을 분석하여 북한 시멘트의 성능을 평가하는 것을 연구의 목적으로 한다. 이를 통하여 향후 건설분야 남북협력사업의 전략 수립에 기여하고, 남북한 통합 건설재료 기준 등 남북한 건설재료 연구의 초석이 될

* Corresponding author E-mail: wjpark@kangwon.ac.kr

¹한국건설기술연구원 수석연구원 (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang-si, Gyeonggi-do, 23111, Korea)

²강원대학교 건설융합학부 건축공학전공 교수 (Department of Architectural Engineering, Kangwon National University, Samcheok, 25913, Korea)

³성신양회 기술연구소 연구원 (Sungshin Cement, Bugang-Myeon, Sejong, 30074, Korea)

것으로 판단한다.

1.2 연구의 방법

북한에서 출판한 문헌은 북한이 공개적으로 수출한 자료 여부에 따라서 공개자료와 내부자료로 구분할 수 있다. 북한에서 생산된 출판물의 해외 수출은 출판지도국의 지도 감독 하에 조선출판물수출입사에서 총괄하고 있으며, 아시아저널이나 남북교역과 같은 북한자료 대행업체를 통하여 공식적으로 조선출판물수출입사 북경지사로부터 입수할 수 있다(Song and Jung 2014).

하지만 북한의 공개된 자료만으로는 기술적 수준을 파악하기가 어려우며, 면밀한 기술적 수준의 분석을 위해서는 실제 공사에 이용되고 있는 기준서나 시방서 등 내부자료를 입수하는 것이 필요하다. 이에 통일부의 북한 자료센터와 특수자료 취급기관 등을 통해서 북한에서 출판한 건설기술 관련 자료를 수집하였으며, 이를 토대로 북한 시멘트의 품질기준을 분석하였다.

또한, 문헌자료를 바탕으로 한 분석은 북한 건설현장의 실태와 괴리가 존재하므로 실제 북한의 시멘트를 중국을 통하여 소량 입수하여 시멘트 물성 평가와 성능분석을 병행하였다.

북한의 시멘트는 중국을 통하여 2019년 4월에 입수하였으며, 시멘트의 제조사와 제조일은 불명확하나 시멘트의 성분조사 결과 입수일로부터 3개월 이전에 생산된 제품으로 사료된다. 평가항목으로는 크게 성분 분석 및 물리적 분석으로 나누어 평가하였다. 또한, 북한에서 건축을 전공했거나 실제 건설현장에서 근무한 탈북자들과의 인터뷰를 통해서 보완작업을 실시하였다.

2. 북한의 시멘트 산업 현황

2.1 시멘트 공장 운영 현황

북한의 시멘트 공장은 공업관리국에서 총괄적으로 관리하고 있다. 이는 김정은 위업 달성 및 체제 유지에 시멘트는 매우 중요한 건설자재임으로 타 업종에 비해 많은 지원을 받는 것으로 알려져 있다. 북한에서 가장 현대화된 시멘트 공장은 순천 시멘트 연합기업소(연간 생산량 300만톤)와 상원시멘트(연간 생산량 200만톤)가 있으며 대부분 북한의 수도인 평양에 공급되고 있다(KoFC 2010). 그러나 공업관리국에서 관리하는 시멘트 공장은 규모에 따라 운영방침이 상이하다. 위에서 언급한 순천시멘트 연합기업소와 상원시멘트 같은 대규모 공장의 경우 한국과 유사한 시스템으로 구축되어 있으며 원료 및 생산물의 수송을 위하여 광산과 공장 그리고 항구 사이에 컨베이어 벨트와 케이블카를 설치하여 운송

및 운반을 하지만 연간 생산량 1~2만 톤 정도의 소규모 시멘트 공장들은 설비가 취약한 편이다.

시멘트의 주원료인 석회석은 북한에 약 1천억 톤이 매장되어 있는 것으로 추정되며 한반도 전체 석회석 매장량의 91% 정도 차지하고 있으며 약 42개의 석회석 광산이 있다. 또한 한국에도 시멘트 공장은 석회석 광산에 위치하듯 북한 또한 석회석 광산에 시멘트 공장이 위치한다. 북한의 석회석 광산의 현황은 Table 1과 같다. 북한의 석회석 광산은 크게 동부지구와 서부지구로 나누며 대부분 태백산맥이 위치한 서부지구에 분포되어 있다.

Table 1. Limestone Mine Status by Region in North Korea

Pyong-an	Ham-gyong	Yang-gang	Cha-gang	Gang-won	Hwang-hae	Total
8	18	1	5	1	9	42

2.2 시멘트 원자재 조달 현황

북한의 시멘트 원료는 풍부한 지하자원 덕분에 자체적으로 원료를 조달하여 사용하고 있다. 그 중에서 시멘트 원료인 점토 대용으로 점판암을 사용하고 있으며 점판암은 3.1억 톤으로 광산에 따라 40~250년간 사용할 수 있는 규모이다. 고로슬래그의 경우는 황해제철연합기업소, 김책제철연합기업소에서 공급받는 것으로 추정되며 규장암은 평양시 동북리와 평안북도 영변에 분포된 자원

Table 2. Major Raw Material Sources in North Korea

Raw materials	Major procurement site	Component
Limestone	Seongsan, Madong, Cheongnangryong, Seungho, Musoo, Jungdo, Buraesan, Gujang, Cheonnari	CaO
Clay	Jangsan mine, Cheonnari	Al ₂ O ₃
Argillite	Suncheon, Seungho, Cheonnae, Gujang, Majang	Al ₂ O ₃
Slag	Hwanghhe steel mill, Kimchaek steel mill	SiO ₂ , CaO
Felsite	Pyongyang Dongbuk-ri, Pyeongbuk Yeongbyeon	SiO ₂ , Na ₂ O, K ₂ O
Quartzite	Pyongyang Seungho Area, Suncheon, Gaecheon, Gaepung	SiO ₂
Gypsum	Uiju, Jaeryong, Sariwon	SO ₃
Anthracite	Coal mine: 2.8 Jikdong, Heuklyeong, Muncheon, Cheonnae District: Gaecheon, Gowon	Heat source
Bituminous coal	District: Geumya, Onsung, Anju	Heat source

을 채취하여 사용한다.

Table 2에서 주요 원자재의 조달지역 현황을 나타낸 것으로, 철질원료에 대한 정보는 공개되지 않고 있다. 철질원료는 시멘트 원료 사용량 중 3% 이내로 사용되기 때문에 석회석 및 슬래그 내에 함유되어 있는 Fe_2O_3 가 높아 별도의 원료로써 사용하지 않는 것으로 판단된다. 이는 XRF(X-Ray Fluorescence Analyzer) 분석 결과에서도 이러한 경향이 나타난다. 사용 연료로는 유연탄보다 무연탄을 많이 사용하고 있다. 이는 무연탄이 발열량에서 우수하기 때문이다.

2.3 시멘트 생산설비 현황

북한의 시멘트 소성로는 전체 48기가 있으며 SP (Suspension Preheater)방식 및 NPS(New Suspension Preheater)방식과 같은 자동화 설비는 8기에 불과하다. 나머지 40기의 소성로 설비는 습식, 반건식, 단순건식 방법을 사용하는 재래식 설비이며, 이러한 재래식 설비는 열 소모율이 높아 생산성 저하와 품질 저하에 많은 영향을 미친다. 한국과 생산설비 수준을 비교하면 한국의 1970년대 수준에 불과한 수준이다. 또한 순천시멘트(미쓰이상사, FL Smith), 상원시멘트(라파즈)와 같은 시멘트 전문업체가 투입된 공장의 설비는 어느 정도 현대화로 개선했으며 상기 2곳을 제외한 나머지 10개의 시멘트 공장은 일제강점기(1910~40년대)에 일본의 전쟁 준비로 지어진 공장을 개보수해서 사용하는 실정으로 설비가 매우 낙후되어 있고 생산량도 매우 낮은 편이다.

이러한 낙후된 설비를 2000년대 중반 이후 일부 시멘트 공장이 기존 소성로를 SP방식으로 개조하여 사용하고 있지만 열원 단위를 비롯한 기술적 수준은 낮은 편이다. Table 3은 시멘트 설비 현황을 나타낸 것이다. Table 3에서 나타나듯이 북한 시멘트 공장 Kiln 중 SP 및 NPS 방식은 전체 48개의 소성로 중 8개가 있으며 점유율은 16.7%에 불과하다. 그러나 생산점유율은 47.9%로 높은 것을 알 수 있다.

따라서 전체적으로 북한의 시멘트 공장 생산설비에 소성로 개

수 대비 시멘트 생산량이 작은 이유는 83.3%가 재래식 소성로를 사용하기 때문으로 나타났다.

북한 지역별 시멘트 생산량을 보면 서부지구(평안도, 자강도, 황해도)의 생산능력은 950만 톤으로 북한 전체 시멘트 생산량의 78.4%를 차지하고 있다. 이는 북한에서 시멘트 소비량이 가장 많은 평양 인근에 위치하고 있으며, 순천, 청룡, 승호리에 대규모 석회석 광산이 개발(석회석 주요 산지 Table 1)되었기 때문에 석회석 수급이 유리한 지리적 이점으로 인해 이와 같은 현상이 나타난 것으로 판단된다. 또한 SP방식 Kiln과 NSP방식 Kiln이 서부지구에 위치함으로 생산량이 높은 것으로 판단된다. 그 이외의 함경도와 강원도 등 동부지구의 생산능력은 167만 톤으로 전체의 13.8%이며 연간 생산량 10만 톤 이하의 용담(10만 톤), 고산(9만 톤), 개천(7.5만 톤), 운포(3만 톤) 공장도 있다. 그러나 주요 공장들에 비해 생산실적은 미미한 수준으로 나타났다.

2.4 시멘트 생산 관련 문제점

북한의 시멘트 생산에 관련하여 설비, 품질, 원자재 등 모든 부분에서 문제점이 있는 것으로 나타났으며, 주요 사항과 원인을 아래와 같이 요약한다.

- 한국의 시멘트 생산설비와 비교 하였을 때 상대적으로 복잡하여 시설의 보수 및 유지관리가 어렵다.
- 최근 북한은 SP방식인 “부유예열탑” 방식으로 소성로를 개조하고 있으나 내화벽돌은 자체 제작된 저급품을 사용함으로써 장시간의 운전은 불가능하다.
- 유류와 소모품 등이 부족하여 Kiln의 정상적인 가동이 이루어지지 못해 Clinker 소성상태가 불량하고 시멘트의 품질상태가 좋지 않다.
- 전력난이 심각하여 시멘트 품질의 안정성 역시 낮은 것으로 추정되며 시멘트색이 노란색에 가깝거나 옅은 회색을 띄고 있어 포틀랜드시멘트 기준으로 할 때 중국산 시멘트보다 강도가 낮게 발현된다.
- 크라프트지의 부족으로 주로 폴리프로필렌 포대를 사용하나 잘 찢어지는 문제와 방수 및 습기에 약하여 운송 및 보관이 어렵다.
- 레미콘 시설의 부족으로 건설현장에서 직접 시멘트와 다른 재료를 혼합하여 사용하고 있으며 이는 콘크리트의 품질이 일정하지 않으며 비산먼지 등의 대기오염이 발생한다.

Table 3. North Korea's Cement Facilities

Type	Production capacity (10 ⁴ tons)	Share (%)	Number of Kiln	Remarks
New-type	580	48	8	SP: 6 NSP: 2
Conventional type	632	52	40	Wet and dry process
Total	1,202	100	48	

3. 북한 시멘트의 분류 및 품질기준 비교

3.1 북한의 시멘트 분류

한국과 북한 모두 시멘트를 크게 기경성 시멘트와 수경성 시멘트로 분류한다. 소석고, 소석회 등은 공기 중에 경화하지만 수중에서는 경화하지 않고 불안정한 상태로 있으므로 기경성 시멘트라고 한다. 반면에 포틀랜드시멘트와 같이 물과 반응하여 수중에서도 안정된 상태로 경화하고 충분한 강도를 발현하는 시멘트를 수경성 시멘트라고 한다. 수경성 시멘트는 이러한 장점 때문에 건축과 토목 분야에서 널리 사용되며, 본 연구에서는 수경성 시멘트로 한하여 비교하였다.

Table 4는 남북한의 건축용 시멘트의 분류를 나타낸 것이다. 북한은 Clinker의 종류에 따라 포틀랜드시멘트 Clinker 기반 시멘트, 알루미나시멘트 Clinker 기반 시멘트, 비소성 혼합 시멘트로 분류하고 있다. 한국에서 포틀랜드시멘트를 보통, 중용열, 조강, 저열, 내황산염으로 분류하는 것에 비하여, 북한은 ①포틀랜드시멘트와 포틀랜드시멘트 Clinker에 15~70%의 시멘트용 부가물을 넣어 만든 ②혼합포틀랜드시멘트, 포틀랜드시멘트 Clinker에 광물 조성을 변화시키거나 포틀랜드시멘트 Clinker에 일련의 첨가제를 넣어 특수한 성질을 나타내는 ③특수 포틀랜드시멘트로 분류한다. 한국의 포틀랜드시멘트에 북한의 포틀랜드시멘트와 특수 포틀랜드시멘트를 대응시킬 수 있는데, 한국에 비하여 북한이 좀 더 상세하게 분류를 하고 있다.

Table 4. Classification and Standards of Cement

North Korea			South Korea		
Type	Class	Standard (North Korea)	Type	Class	Standard
Special Portland Cement	Portland Cement	1334-2006	Portland Cement	Ordinary Portland Cement	KS L 5201
	Rapid-setting Portland Cement	10058-1995		Early-strength Portland Cement	
	Low-heat Portland Cement	6101-2001		Low-heat Portland Cement	
	Hydrophobic Portland Cement	-		Moderate heat Portland Cement	
	Sulfate resistant Portland Cement	8604-2001		Sulfate resistant Portland Cement	
	Plasticity Portland Cement	-			
	White Portland Cement	7748-1997			
Blended Portland Cement	Wear Resistant Portland Cement	-	Blended Cement	Blast Furnace Slag Cement	KS L 5210
	Slag Portland Cement	6191-1990		Fly-ash Cement	KS L 5211
	Fly-ash Portland Cement	11536-2007		Low-heat Blended Cement	-
	Zeolite Cement	-		Portland Pozzolan Cement	KS L 5401
Special Cement	Volcanic ash Portland Cement	-	Special Cement	Rapid-hardening Cement	-
	Alumina Cement	9628-1993		White Portland Cement	KS L 5204
	Gypsum Alumina Cement	-		Alumina Cement	KS L 5205
	Expansive Alumina Cement	-			

(Source) North Korea: KSA(2006); Encyclopedia Publications(2011), South Korea: KSCS(2018)

Table 5. Comparison of Cement Quality

Division		South Korea	North Korea									
		OPC (MPa)	130		170		200		220		270	
			C (MPa)	F (MPa)	C (MPa)	F (MPa)	C (MPa)	F (MPa)	C (MPa)	F (MPa)	C (MPa)	F (MPa)
Ages of 3 days		More than 12.5	3.0	-	4.0	-	5.0	1.4	5.5	1.6	6.5	2.0
Ages of 7 days		More than 22.5	5.5	-	8.0	2.3	10.0	2.5	11.0	2.7	13.5	3.3
Ages of 28 days		More than 42.5	13.0	-	17.0	3.7	20.0	4.0	22.0	4.3	27.0	5.0
Mix ratio (mass ratio)	Cement	1	1									
	Sand	3	2									
	Water	0.5	0.65									
Remarks			C (Compressive strength), F (Flexural strength)									

(Source) North Korea: Joo and Kim(2015)

Table 6. Comparison of Cement Chemical Composition and Properties

Division	Ignition loss (wt.%)	Chemical composition(wt.%)		Setting time		Fineness (cm ² /g)
		MgO	SO ₃	Initial set(min.)	Final set(hr.)	
South Korea	Less than 5.0	Less than 5.0	Less than 3.5	More than 60	Less than 10	More than 2,800
North Korea	Less than 5.0	Less than 5.0	Less than 3.5	More than 45	Less than 10	More than 2,500

(Source) North Korea: Jang(2016)

3.2 북한의 시멘트 품질기준

Table 5에 남북한의 시멘트 품질기준을 비교하여 나타내었다. 북한 시멘트의 경우 한국 시멘트의 품질기준과 달리 휨강도의 규정이 있으며 W/C(물/시멘트), C/S(시멘트/잔골재)등이 차이가 있음을 알 수 있다.

또한 북한 시멘트는 재령 28일 압축강도에 따라 규격을 지정하고 있으며 130 규격부터 270 규격까지 정의하고 있다. 또한 모든 북한 시멘트의 초기 압축강도 및 재령 28일 압축강도 규격은 한국보다 낮게 명시되어 있다. 이는 한국보다 W/C가 높기 때문인 것으로 사료된다. Table 6에 한국과 북한의 시멘트 화학성분 기준 및 응결시간 기준을 비교하였다. 한국과 북한 시멘트의 화학적 기준은 동일하나 응결시간 기준 중에 초결시간은 북한 시멘트가 한국의 시멘트에 비해 비교적 빠른 것으로 나타났다. 또한 분말도 기준 또한 한국 시멘트 보다 북한 시멘트가 낮게 설정 되어 있는 것으로 나타났다.

4. 북한 시멘트의 품질 성능평가

4.1 실험 개요

입수한 북한 시멘트의 양이 소량인 관계로 시멘트의 품질시험 중 기본적인 품질항목에 대해 평가하였다. 평가항목으로는 크게 성분 분석 및 물리적 분석 2가지로 나누어 평가하였으며, 각 실험은 KS에 준하여 진행하였다. Table 7은 실험 항목 및 실험사항에 대해 나타난 것이다.

4.2 실험 결과

Table 8은 XRF 분석기기를 통하여 한국과 북한 시멘트의 화학 분석 결과를 나타난 것이다. 분석결과 시멘트의 화학조성의 차이는 크게 상이한 점이 없는 것으로 나타났으나 시멘트의 품질에 가장 영향을 많이 미치는 CaO의 함량은 한국수준 보다 북한이 낮게 나타는 것으로 판단된다. 이와 같은 이유는 한국에서는 시멘트의 원료인 석회석에 대하여 LSF(Lime Saturation Factor) 80%

Table 7. Experimental items

Item	Experiment	Standard method	Experimental condition
Component analysis	XRF	-	Compressive strength: Ages of 3, 7 and 28 days
	XRD		
Physical analysis	Density	KS L 5110	Curing condition: 20°C±2°C(RH 99%)
	Fineness		
	Residue	KS L 5106	Specimen size : 40×40×160(mm)
	Ignition loss		
	Flow	KS L 5405	Mix proportion: Cement: Sand=1: 3 (W/C 50%)
	Comp. strength	KS L ISO 679	

Table 8. Chemical composition(wt.%)

Sample	L.O.I	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total
S-OPC	1.51	15.03	2.48	2.61	73.12	1.99	2.68	99.42
N-OPC	2.48	17.47	3.61	5.97	63.78	2.71	3.76	99.78

(Note) S-OPC: South Korea, N-OPC: North Korea

Table 9. Analysis of trace elements of cement

Sample	Trace elements(ppm)						
	Elements	Na ₂ O	K ₂ O	Cr	Pb	Cd	Cu
	Standard	-	-	30.25 ~ 122.89	58.89 ~ 789.21	2.60 ~ 10.83	28.45 ~ 257.37
S-OPC		-	-	21.4	34.8	0.63	60.9
N-OPC		0.2	0.77	16	15	38	115

이상인 원료를 사용하고 있으나 북한은 이러한 기준이 없거나 미흡하게 되어 있을 것으로 판단된다. 또한, 북한 시멘트는 Fe₂O₃의 성분이 높게 나타났는데 이는 Fe₂O₃의 함량이 높아질수록 시멘트 Kiln에서의 소성온도를 낮출 수 있는 점을 고려할 때 북한의 시멘트 소성시 사용되는 Kiln 설비의 낙후로 인해 소성온도가 높게 올라가지 않아 Fe₂O₃를 많이 사용하여 Fe₂O₃가 높고 CaO 함량이 낮은 것으로 사료된다. 또한 강열감량 측정결과 KS 기준인 5% 이내에 만족하는 것으로 나타났다. 이는 북한 시멘트가 풍화되지 않

고 보관상태가 양호한 것으로 사료된다.

Table 9에 시멘트의 미량성분 측정결과를 나타낸다. 미량성분은 유해물질로서 관리되고 있다. 미량성분 측정 결과 한국의 시멘트는 기준에 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 북한 시멘트에서는 카드뮴(Cd)이 기준치 이상으로 측정되었으며 향후 북한 시멘트 활용시 보다 면밀한 분석이 필요할 것으로 판단된다. 또한 북한 시멘트의 미량성분에서는 Na_2O , K_2O 의 성분이 검출이 되었다. 이는 북한의 시멘트 원료 중 규장암에서의 소량의 Na_2O , K_2O 의 성분이 있기 때문으로 판단한다.

Table 10은 X선 회절분석기를 사용하여 시멘트의 4대 구성 광물을 분석한 결과이다. 실험방법은 회절분석기를 사용하여 각각의 시멘트를 1°/분의 조건으로 측정된 다음 리트벨트법을 베이스로 개발되어 있는 정량분석프로그램을 사용하여 시멘트 주요광물에 대한 정량분석을 실시하였다(Appendix). 분석결과 한국 시멘트에 비해 북한 시멘트는 압축강도 발현에 영향을 가장 많이 미치는 C_3S 함량이 낮은 것으로 나타났다. 그러나 C_2S 함량은 높게 나타났다. 일반적으로 C_2S 는 Clinker 소성 시 1,200°C 부근에서 형성되고 C_3S 는 1350°C에서 형성된다. 이러한 관점에서 북한 시멘트가 한국 시멘트보다 C_3S 가 낮고 C_2S 가 높은 이유는 북한의 시멘트 설비 낙후 및 전력 문제로 인하여 충분한 온도로 Clinker가 소성되지 않았기 때문으로 판단한다. 그리고 C_2S 가 높으면 초기강도 발현은 늦으나 장기강도가 높게 발현되는 특성이 있다. 또한 북한 시멘트에서는 CaO가 측정되었으며, 이는 낮은 소성온도 및 충분한 소성 시간 부족으로 나타나는 현상 또는 Free CaO로 존재하는 것으로 예측할 수 있다. Free CaO는 X선 회절분석기 분석을 통해 분석할 수 없기 때문에 추후 북한 시멘트를 대상으로 에틸렌글리콜법을 통한 Free CaO 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 북한 시멘트에서는 한국 시멘트 보다 C_4AF 가 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 앞서 설명한 XRF화학적분석과 같이 시멘트 원료 중 Fe_2O_3 의 함량이 높기 때문에 C_4AF 함량이 높은 것으로 사료되며, C_4AF 의 함량이 많으면 강도발현에 문제가 있을 것으로 분석된다.

Table 11은 분말도, 비중, 잔사의 측정결과를 나타낸 결과이다. 분말도와 비중 측정결과, 한국 시멘트와 북한 시멘트가 유사한 결과를 나타냈다. 그러나 잔사의 경우 북한 시멘트는 41%의 높은 결과가 나타났다. 이는 앞서 기술한 바와 같이 시멘트 Clinker 소성 시 충분한 소성온도까지 내부 열이 올라가지 못하여 시멘트 화합물로서 생성되지 않기 때문에 불순물로 존재할 수 있다. 잔사는 시멘트상의 불순물량이 높은 경우에 측정되며 잔사가 높을수록 압축강도는 감소하게 된다. 북한 시멘트의 경우 잔사가 41%로 시멘트량의 약 절반수준이 불순물이라 할 수 있을 만큼 품질이 매우

낮으며, 이는 압축강도 저하에 많은 영향을 미치게 된다.

Table 12는 유동성 측정결과를 나타낸다. 실험결과 한국 시멘트보다 북한 시멘트가 유동성이 낮게 나타났다. 유동성의 저하는 시멘트 4대 광물 중 C_3A 의 함량과 상태에 따라 변화가 된다. 각각의 시멘트의 C_3A 의 함량을 비교하였을 때 함량의 차이는 크게 나타나지 않았지만, C_3A 의 결정화와 비결정화 따라서 유동성과 강도에 문제가 있을 수 있다. C_3A 가 결정화가 진행되었을 때 유동성은 저하된다. 이러한 문제는 급냉설비 부분에서 찾아볼 수 있다. 한국의 경우는 Kiln에서 Clinker가 배출시 약 200°C가량의 온도로 배출되며 급냉설비(쿨러)를 통해 약 20분 이내 온도를 떨어뜨린다. 이때 Clinker의 4대 광물은 비결정화가 되며 시멘트의 성질을 갖게 된다. 그러나 북한 시멘트 제조설비에서는 소성설비와 더불어 급냉설비가 열악하다는 가정하에 Clinker가 급냉되지 못해 결정화 성질을 나타내어 유동성이 저하되는 것으로 사료된다.

Table 13은 남북한 시멘트의 KS L ISO : 679에 따라 동일한 혼합수량 조건(물/시멘트 값 0.50)에서 모르타르의 재령별 압축강도 측정된 결과이다. 압축강도 측정결과 한국 시멘트보다 북한 시멘트의 압축강도가 매우 낮게 측정되었다. 이는 앞서 기술한 바와

Table 10. Result of X-ray analysis

OPC type	Compositions(wt.%)							
	C_3S	C_2S	C_4AF	C_3A	SO_3	MgO	CaO	CaSO_4
S-OPC	58.1	19.5	2.19	5.16	1.96	3.58	-	-
N-OPC	39.1	36.7	12.2	5.56	1.98	4.46	5.03	2.59

Table 11. Physical analysis

Type	Fineness (cm^2/g)	Density (g/cm^3)	Residue on 44 μm sieve (%)
S-OPC	3,339	3.15	5.1
N-OPC	3,270	3.11	41.2

Table 12. Flow test



Type	Flow (mm)		
S-OPC	170		
N-OPC	120		
		S-OPC	N-OPC

Table 13. Compressive strength of cement(Unit: MPa)

Sample	Curing ages(days)			
	3	7	28	56
S-OPC	28.7	41.2	58.7	63.4
N-OPC	13.6	17.8	21.9	32.8

같이 북한 시멘트는 잔사가 높고 C_3S 함량이 낮기 때문에 시멘트로서의 품질이 매우 낮다. 또한 한국 시멘트의 경우 재령 28일 이후 56일 재령에서는 압축강도의 증가폭은 높지 않았으나, 북한 시멘트는 C_2S 함량이 높기 때문에 소정의 재령 이후에 늦게 압축강도가 발현되었으며 한국 시멘트 압축강도 수준에 비하면 약 50%에 미치는 수준이었다.

4. 결 론

본 연구에서는 북한의 시멘트 산업현황과 북한 시멘트의 특성을 평가하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 북한은 시멘트 공장은 12개로 추정되며 연간 생산능력은 1,200만 톤 정도이며 북한 전체 시멘트 생산량의 78.4%가 서부지구(평양인근)에서 생산된다. 또한 석회석 광산은 동부 지구와 서부지구로 나누며 대부분 태백산맥이 위치한 서부 지구에 분포되어 있다.
2. 북한 시멘트 공장 Kiln중 SP 및 NSP방식의 시멘트 설비는 전체 48개의 소성로 중 8개가 있으며 점유율은 16.7%에 불과하다. 그러나 생산점유율은 47.9%로 높은 것을 알 수 있다. 따라서 북한의 시멘트 공장은 전체적으로 소성로 계수 대비 생산량이 작은 이유는 83.3%가 재래식 소성로를 사용하기 때문인 것으로 사료된다.
3. 북한에서의 시멘트 규격은 시멘트 재령 28일 압축강도에 따라 규격을 지정하고 있으며 모든 북한 시멘트의 초기 압축강도 및 재령28일 압축강도 규격은 한국보다 낮게 명시되어 있다. 이는 한국보다 W/C가 높기 때문인 것으로 사료된다.
4. 북한 시멘트의 품질 평가 결과 북한 시멘트는 한국 시멘트보다 품질이 저하되는 것으로 나타났다. 북한 시멘트는 한국 시멘트보다 C_3S 가 낮고 C_2S 가 높았으며, 이는 북한 시멘트 설비의 낙후 및 전력 문제로 인하여 충분한 온도로 클링커가 소성되지 않았기 때문인 것으로 사료된다. 또한 북한의 시멘트에서 잔사 함량이 한국에 비해서 월등히 높았으며, 앞서 기술한 바와 같이 시멘트 클링커 소성 시 충분한 소성온도까지 열이 올라가지 못하여 시멘트화합물로서 생성되지 않기 때문에 불순물로 존재했을 것으로 사료된다. 특히 압축강도의 경우 한국의 시멘트보다 약 50% 정도 밖에 강도발현을 하지 못하였다. 이는 높은 잔사 함량이 압축강도 저하에 많은 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 또한 북한 시멘트 설비의 낙후로 인해 소성과정과 급냉과정이 원활하게 이루어지지 않기 때문인 것으로 판단된다.

Conflict of interest

None.

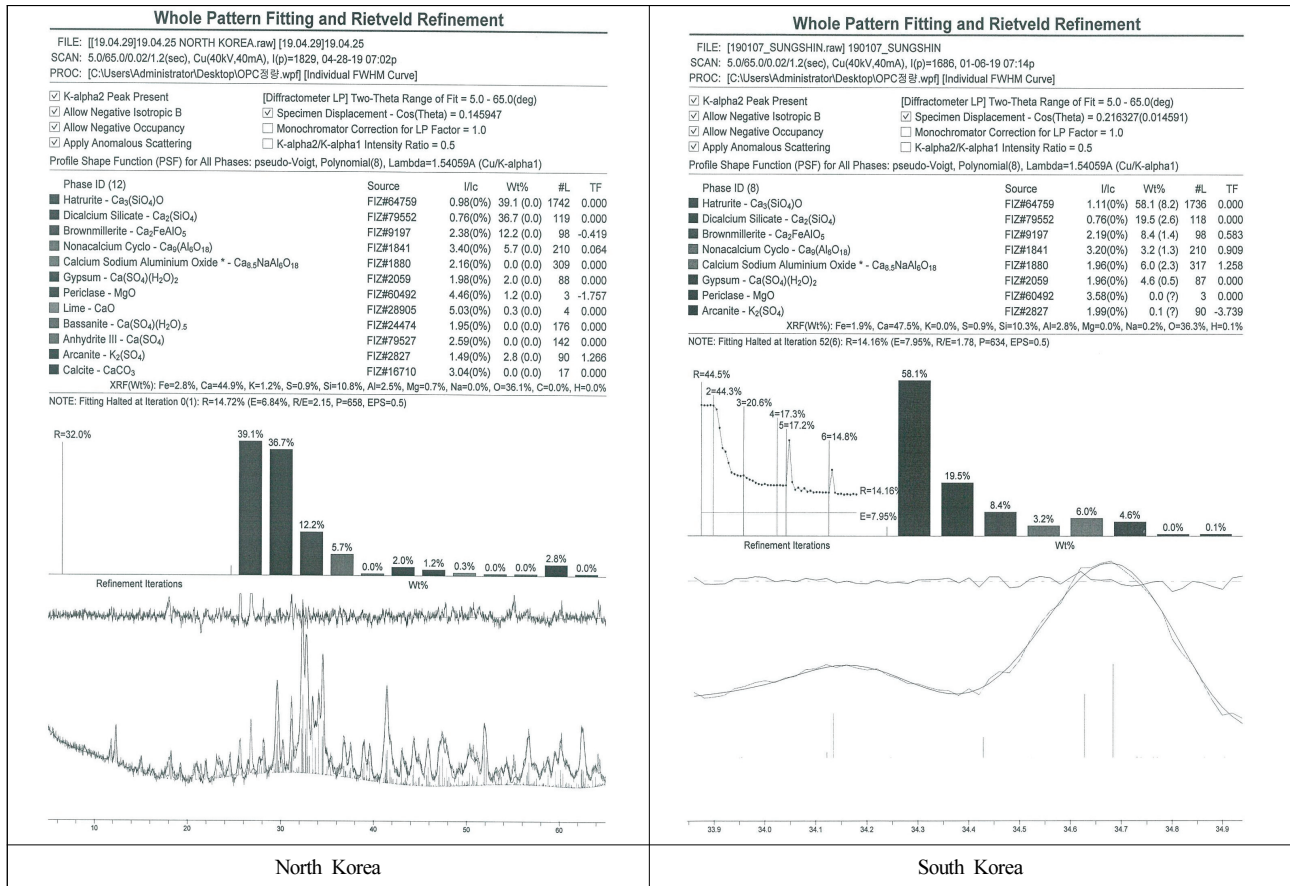
감사의 글

This research was supported by a grant (no.20190264-001, NRF-2018R1D1A3B07045700) from the Main Research Project funded by the Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology and National Research Foundation of Korea(NRF).

References

- Encyclopedia Publications, (2011), Gwangmyeong Encyclopedia, Pyongyang: Encyclopedia Publications [in Korean].
- Jang, J.C. (2016), Building Construction Handbook, Pyongyang: Industrial Publications [in Korean].
- Joo, S.H., Kim, M.R. (2015), 2015 Construction Advisory Panels, Pyongyang: Industrial Publications [in Korean].
- KCSC(Korea Construction Standards Center), (2018), KCS 44 55 05: 2018 Cement [in Korean].
- Kim, M.J., Kim, S.Y., Oh, S.M., Cho, H.H., Kang, K.I. (2019), Performance indicator and its application for evaluation of construction infrastructure in north korea, Orea Institute of Construction Engineering and Management, **20**, 62-72 [in Korean].
- KoFC(Korea Finance Corporation), (2010), The North Korea Industry 2010, 393-438 [in Korean].
- KSA(Korea Standards Association), (2006), North Korean National Standards [in Korean].
- LH(Land and Housing Institute), (2017), Trend and Status of Construction and Infrastructure in North Korea, 2017 [in Korean].
- Park, S.G., Kim, T.J., Hong, S.J. (2015), Plans to revitalize construction cooperation in south and north korea, Korean Institute of Construction Engineering and Management, **16**, 21-25 [in Korean].
- Song, S.S., Jung, J.K. (2014), A study on the collection and administration of electronic publications in north korea, The Journal of Humanities, **36**, 295-312 [in Korean].

Appendix



북한의 시멘트 물성 및 시멘트 산업현황에 관한 연구

본 연구에서는 대표적인 건설재료인 시멘트를 대상으로 남북한의 시멘트 기준과 성능을 비교 분석하여 북한 시멘트 산업 및 기술 현황을 평가하는 것을 연구의 목적으로 문헌조사와 실험을 병행하였다. 문헌적 연구에서 북한의 시멘트 산업현황과 성능기준에 관한 자료를 통일부의 북한자료센터와 특수자료 취급기관 등을 통해서 수집하여 분석하였다. 이를 토대로 남북한 시멘트의 설비, 분류, 품질기준을 비교하였다. 실험적 연구에서 북한의 시멘트 품질에 관한 조사는 실제 북한의 시멘트를 중국을 통하여 소량 입수하여 물리화학 분석실험을 병행하였고 국내 시멘트와 비교분석을 하였다. 연구결과, 북한 시멘트는 한국 시멘트 보다 품질이 저하되는 것으로 나타났다. 북한 시멘트는 한국 시멘트 보다 C₃S가 낮고 C₂S가 높았으며, 특히 잔사 함량이 월등히 높게 나타났다. 또한 북한 시멘트는 한국의 시멘트보다 약 50% 정도의 압축강도 발현을 하지 못하였다. 이는 북한 시멘트 설비의 낙후 및 전력 문제로 인하여 충분한 온도로 클링커가 소성되지 않았기 때문인 것으로 사료된다.