

산업부산물로 제조한 콘크리트 벽돌 및 인터록킹 블록의 특성

Properties of the Concrete Bricks and Interlocking Blocks Made with the Industrial By-Product

최 정 호* 서 상 교**
Choi, Jung Ho Seo, Sang Kyo

Abstract

The present study was aimed to investigate the possibility of use of pozzolanic materials such as blast furnace slag, fly ash, paper sludge ash which are produced from industrial wastes, as construction materials. Experiments were undertaken to investigate the properties of concrete bricks and interlocking blocks made with these industrial by-products. As a result, it was found that the concrete bricks and interlocking blocks made with substitute materials have equivalent strength and quality to those of conventional concrete bricks and interlocking blocks made with only cement. Thus, it could be expected that recycling the industrial wastes can reduce manufacturing costs of the cement as well as prevent environmental pollution by the use of the by-products thrown out as wastes to make secondary products of the concrete.

1. 서론

최근 폐기물의 급격한 양적 증가, 폐기물 처리·처분 기술의 취약 및 폐기물 처리시설 설치에 대한 민원의 발생 등에 따라 폐기물 문제가 국가적 위기로까지 대두되고 있는 실정에 있다. 현재 국내의 폐기물 처리방법으로는 단순매립에서부터 소각에 이르기까지 다양한 방법이 있을 수 있겠지만, 어느 것 하나 환경오염과 자연생태계의 파괴를 방지할 수 있는 최선의 방법은 되지 못한다. 따라서 폐기물은 단순히 버리면 해결되는 쓰레기가 아니라, 재활용하면 폐기물 처리비용의 절감은 물론 무한한 자원이 될 수 있다는 발상의 전환이 필요하다.

이와 같은 관점에서, 본 연구에서는 각종 산업부산물 중 특히 잠재수경성을 갖고 있는 포졸란 계통의 재료, 즉 급랭슬래그미분말(이하 슬래그라 약칭한다), 플라이애쉬, 제지슬러지애쉬에 대한 건축 재료로서의 사용가능성 여부를 알아보기 위하여, 위 세가지 산업부산물을 시멘트 대체재료로서 치환시켜 제조한 콘크리트 2차제품의 품질특성을 실험적으로 검토하고자 한다.

*정회원, 충북대학교 건축공학과 대학원 박사과정

**정회원, 충북대학교 건축공학과 교수

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험개요

본 실험은 현재 건설시장에 출하되고 있는 콘크리트 2차제품인 C종1급 콘크리트 벽돌과 차도용 인터록킹 블록의 제품 제조시, 주 배합재료인 시멘트의 일부를 산업부산물인 슬래그, 플라이애쉬, 제지슬러지애쉬로 치환시켜 제조한 제품의 품질특성에 대하여 알아보고자 한다. 산업부산물의 시멘트에 대한 치환율은 기존 연구결과^{1)~3)}에 기초하여 슬래그(S)는 50%, 플라이애쉬(F)는 20%, 제지슬러지애쉬(P)는 10% 치환하였으며, 또한 부산물들이 갖고있는 장점들의 상호보완적인 효과를 알아보기 위하여 슬래그와 플라이애쉬(SF)를 각각 30%와 20%, 슬래그와 제지슬러지애쉬(SP)를 40%와 10%, 그리고 슬래그, 플라이애쉬, 제지슬러지애쉬(SFP)를 각각 30%, 10%, 10%로 총 시멘트량의 50%를 치환한다. 산업부산물로 제조한 제품의 품질은 KS(한국산업규격)에 의하여 평가하고, KS의 품질기준에 합격한 제품 제조시 세가지 부산물의 적절한 대체혼합비율과 기준콘크리트의 배합비를 밝히고자 한다.

2.2. 사용재료

본 연구에 사용한 시멘트는 S사 제품인 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다. 시멘트의 대체재료로서 사용한 슬래그, 플라이애쉬, 제지슬러지애쉬의 화학적조성 및 물리적성질은 표-1과 같다.(분석은 쌍용양회 중앙연구소에서 실시하였음) 굵은골재는 최대치수 13mm인 부순자갈을 사용하였으며, 잔골재는 충청남도 연기군 부강에서 채취한 강모래를 사용하였다.

2.3. 시험체 제작 및 시험방법

콘크리트 벽돌은 보통골재만을 사용하여 제조한 C종1급 기본벽돌(190×90×57^{mm})을 제작하였으며, 인터록킹 블록은 I형 기본블록(208×68×70^{mm})을 제작하였다. 콘크리트 벽돌은 KS F 4004에서 정하고 있는 품질시험 기준에 준하여 압축강도 시험과 흡수를 시험을 실시하였으며, 인터록킹 블록은 KS F 4419에서 정하고 있는 품질시험 기준에 준하여 휨강도 시험과 흡수를 시험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

표-1. 산업부산물의 화학적 조성 및 물리적 특성

산업부산물의 종류	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Ig.loss (%)	Specific Gravity(cm ³ /g)	Blaine (cm ² /g)
급랭슬래그미분말	32.16	15.29	0.56	42.02	6.87	0.65	1.70	2.92	11,360
플라이애쉬	62.40	23.60	6.10	2.90	0.90	0.30	4.20	2.42	4,310
제지슬러지애쉬	30.85	19.79	0.94	39.75	4.23	0.62	0.10	2.86	22,720

3.1 콘크리트 벽돌

3.1.1 배합계획 및 결과분석

(1)배합계획

현재 국내의 콘크리트벽돌에 관한 표준인 KS F 4004에 따르면, 제품의 제조에 있어서 성형과 양생방법에 관한 규정만이 명시되어 있을 뿐, 배합기준은 업체의 자율로 위임하고 있는 실정에 있다. 따라서 산업부산물인 슬래그, 플라이애쉬, 제지슬러지애쉬를 혼입한 콘크리트벽돌의 합리적인 배합을 도출하기 위하여, 산업부산물을 혼입하지 않은 콘크리트의 배합은 청주소재 S제조회사의 배합비율을 참고하여 결정하고, 산업부산물의 치환율은 Galeota¹⁾와 최정호³⁾의 연구결과를 참고로하여 결정하였으며, 기준배합표를 표-2에 나타내었다. 표-2에서 보는바와 같이 단위시멘트량을 215kg/m³으로 정하고, 물결합재비(이하 W/B로 표기)를 25%, 35%, 45%로 변화시켰다.

(2)결과분석

① 압축강도

KS F 4004에서 정의하고 있는 제품 출하일을 기준으로하여, 재령 16일째 압축강도 시험을 실시하였다. 각 시험체 종류별로 3개씩 시험을 하여 평균압축강도를 구했으며, 그림-1에 물결합재비(W/B)에 따른 압축강도를 각각 나타내었다. 그림-1에서 보는 바와 같이, 재령 16일에 대한 압축강도의 경우,

표-2. 콘크리트 벽돌의 배합계획 및 실험결과

기 호	W/B (%)	시멘트에 대한 치환율(%)			표준 중량 배합(kg/m ³)					
		슬래그	플라이 애쉬	제지슬러지	W	C	모래	슬래그	플라이 애쉬	제지슬러지
25-C	25%	-	-	-	215.0	-	-	-	-	-
25-S		50	-	-	107.5	-	99.7	-	-	-
25-F		-	20	-	172.5	-	-	33.0	-	-
25-P		-	-	10	193.5	-	-	-	-	19.5
25-SF		30	20	-	107.5	-	59.8	33.0	-	-
25-SP		40	10	-	107.5	-	79.7	-	-	19.5
25-SFP		30	10	10	107.5	-	59.8	16.5	-	19.5
35-C	35%	-	-	-	215.0	-	-	-	-	-
35-S		50	-	-	107.5	-	99.7	-	-	-
35-F		-	20	-	172.5	-	-	33.0	-	-
35-P		-	-	10	193.5	-	-	-	-	19.5
35-SF		30	20	-	107.5	-	59.8	33.0	-	-
35-SP		40	10	-	107.5	-	79.7	-	-	19.5
35-SFP		30	10	10	107.5	-	59.8	16.5	-	19.5
45-C	45%	-	-	-	215.0	-	-	-	-	-
45-S		50	-	-	107.5	-	99.7	-	-	-
45-F		-	20	-	172.5	-	-	33.0	-	-
45-P		-	-	10	193.5	-	-	-	-	19.5
45-SF		30	20	-	107.5	-	59.8	33.0	-	-
45-SP		40	10	-	107.5	-	79.7	-	-	19.5
45-SFP		30	10	10	107.5	-	59.8	16.5	-	19.5

물결합재비 25%와 35%에서는 기준콘크리트(45-C) 및 부산물이 혼입된 모든 콘크리트에서 규준강도(그림에서의 실선)에 크게 못 미치는 강도를 보였다. 수화반응에 소요되는 수량이 적어서 수산화칼슘의 생성이 부족하였기 때문에 강도발현이 지연된 것으로 생각된다. 물결합재비 45%에서는 기준콘크리트(45-C)의 경우만 규준강도에 약간 미달했을 뿐, 부산물이 혼입된 모든 콘크리트에서 규준강도보다 4~30% 높은 압축강도를 나타내었다.

② 흡수율

KS F 4004의 규준에 의거하여 흡수율 시험을 실시하였으며, 그 결과를 그림-2에 나타내었다. 흡수율은 규준에서 C종1급 벽돌의 경우 7%이하로 정의하고 있으나, 그림-2에서 보는바와 같이 시험결과는 모두 이보다 높은 흡수율을 나타내었다. 물결합재비에 따른 흡수율을 비교해보면, 물결합재비 45%에서 규준(그림에서의 실선)에 가장 근접한 흡수율을 보였다. 그러나 물결합재비 45%일 때, 기준콘크리트(45-C) 및 부산물이 혼입된 모든 콘크리트에 있어서의 흡수율은 모두 규격에 미달하였다.

(3) 고찰

이상의 결과를 살펴보면, 산업부산물을 혼입한 콘크리트 벽돌 제품의 제조시, 기준콘크리트의 배합은 단위시멘트량 215kg/m³, 물결합재비(W/B) 45%로 하는 것이 압축강도 면에서는 충분히 KS규준에 적합하지만, 흡수율은 규준보다 1~3%정도 약간 큰 값을 나타내고 있어 흡수율을 줄일수 있는 방안이 요구된다.

3.2. 인터록킹 블록

국내의 보·차도용 콘크리트 인터록킹 블록에 관한 규준인 KS F 4419에서도, 콘크리트 벽돌에서와 같이 제품의 제조에 있어서 성형과 양생방법에 관한 규정만이 명시되어 있을 뿐, 배합기준은 업체의 자율로 위임하고 있다. 따라서 산업부산물을 혼입한 인터록킹 블록의 경우도 규준에 적합한 휨강도와 품질을 갖는 합리적인 배합계획을 도출하기 위하여, 현재 제품을 출하하고 있는 청주소재 S제조회사의 배합비율과 기존 연구결과²⁾⁻³⁾를 참고하여 1차실험을 위한 배합비를 결정하였다. 또한, 산업부산물의 치환율은 콘크리트벽돌에서 실시한 방법을 동일하게 적용하였다. 1차실험 결과를 바탕으로 하여 2차배합비를 결정하였으며, 규준과의 비교를 통해서 산업부산물을 혼입한 인터록킹 블록의 휨강도특성과 흡수율에 대하여 검토하였다.

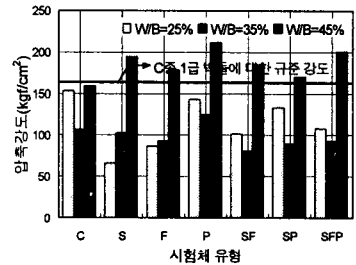


그림-1. 재령16일에 대한 압축강도 특성

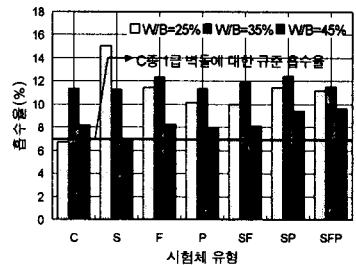


그림-2. 흡수율 측정결과

표-3. 인터록킹 블록의 1차실험 배합계획 및 실험결과

기 호	W/B (%)	시멘트에 대한 치환율 (%)			표준 중량 배합 (kg/m ³)						
		슬래그	플라이 애쉬	제지슬러지애쉬	W	C	모래	부순돌	슬래그	플라이 애쉬	제지슬러지애쉬
25-C	25%	-	-	-	75	300	1025	1066	-	-	-
25-S		50	-	-	75	150	-	-	139	-	-
25-F		-	20	-	105	240	-	-	-	46	-
25-P		-	-	10	105	270	-	-	-	-	27
25-SF		30	20	-	105	150	-	-	83	46	-
25-SP		40	-	10	105	150	-	-	111	-	27
25-SFP		30	10	10	105	150	-	-	83	23	27
35-C		35%	-	-	-	105	300	987	1027	-	-
35-S	50		-	-	105	150	-	-	139	-	-
35-F	-		20	-	105	240	-	-	-	46	-
35-P	-		-	10	105	270	-	-	-	-	27
35-SF	30		20	-	105	150	-	-	83	46	-
35-SP	40		-	10	105	150	-	-	111	-	27
35-SFP	30		10	10	105	150	-	-	83	23	27
45-C	45%		-	-	-	135	300	950	988	-	-
45-S		50	-	-	135	150	-	-	139	-	-
45-F		-	20	-	135	240	-	-	-	46	-
45-P		-	-	10	135	270	-	-	-	-	27
45-SF		30	20	-	135	150	-	-	83	46	-
45-SP		40	-	10	135	150	-	-	111	-	27
45-SFP		30	10	10	135	150	-	-	83	23	27

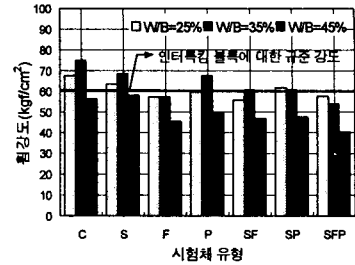


그림-3. 재령16일에 대한 휨강도 특성

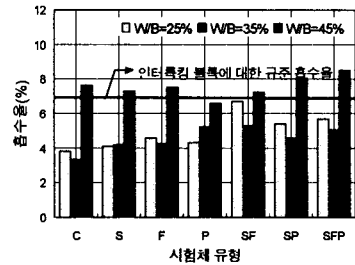


그림-4. 흡수율 측정결과

3.2.1. 1차실험 배합계획 및 결과분석

(1) 배합계획

청주소재 S제조회사의 배합비율과 기존 연구결과를 참고하여, 표-3에서 보는 바와 같이 기준 콘크리트의 단위시멘트량을 300kg/m³으로 정하고, 물결합재비(W/B)를 25%, 35%, 45%로 변화시켜 시험체를 제조하였으며, 배합비에 따른 품질특성을 검토하였다.

(2) 결과분석

① 휨강도

KS F 4419에서 정하고 있는 제품출하일을 기준으로 하여 재령 16일째 휨강도 시험을 실시하였다. 각 시험체 종류별로 3개씩 시험을 하여 평균 휨강도를 구했으며, 그 결과를 그림-3에 나타내었다. KS F 4419에서 규정하고 있는 인터록킹 블록의 휨강도는 보도용이 50kgf/cm² 이상, 차도용이 60kgf/cm² 이상으로 정의하고 있다. 그림-3은 물결합재비 25%, 35%, 45%에 따른 휨강도값을 나타내고 있다. 물결합재비 25%인 경우의 휨강도값을 보면, 기준콘크리트(25-C)와 시험체 25-S, 25-SP만이 규준에 합격하였고, 그 외의 시험체(25-F, 25-P, 25-SF, 25-SFP)에서는 규준에 약간 미달하는 강도값을 나타내었다. 물결합재비 35%인 경우에는 기준콘크리트(35-C)와 시험체 35-S, 35-P, 35-SF, 35-SP는 규준 강도에 합격하고 있으나 시험체 35-F와 35-SFP에서 규준강도보다 4~6kgf/cm² 정도 약간 낮은 강도값을 나타내었다. 물결합재비 45%인 경우에는 기준콘크리트(45-C) 및 부산물이 혼입된 모든 시험체가 규준강도(그림에서의 실선)에 미달하였다. 물결합재비에 따른 휨강도값을 비교해 보면, 물결합재비 35%의 경우가 가장 양호한 강도값을 갖는 것으로 나타났다.

② 흡수율

1차실험 배합계획에 의해서 제조한 인터록킹 블록의 평균흡수율을 그림-4에 나타내었다. KS F 4419에서 정하고 있는 흡수율에 대한 사항을 보면, "평균흡수율은 7%이내 이어야하고, 각각의 흡수율은 10%이내 이어야 한다."라고 규정하고 있다. 그림-4에서 보는바와 같이, 물결합재비 25%와 35%에서는 모든 시험체가 규준(그림에서의 실선)에 적합한 흡수율을 나타내고 있으며, 물결합재비 45%에서는 평균흡수율을 벗어나고 있다.

표-4. 인터록킹 블록의 2차실험 배합계획 및 실험결과

기호	W/B (%)	시멘트에 대한 치환율 (%)			표준 중량 배합 (kg/m ³)						
		슬래그	플라이 애쉬	재지슬러지	W	C	모래	부순돌	슬래그	플라이 애쉬	재지슬러지
30-C	-	-	-	-	320	-	-	-	-	-	-
30-SF	30	20	-	-	160	-	-	89.0	49.2	-	-
30-SP	40	-	10	-	160	991	1030	118.7	-	29.1	-
30-SFP	30	10	10	-	160	-	-	89.0	24.6	29.1	-
35-C	-	-	-	-	320	-	-	-	-	-	-
35-SF	30	20	-	-	160	-	-	89.0	49.2	-	-
35-SP	40	-	10	-	160	978	1017	118.7	-	29.1	-
35-SFP	30	10	10	-	160	-	-	89.0	24.6	29.1	-
35-C	-	-	-	-	330	-	-	-	-	-	-
35-SF	30	20	-	-	165	-	-	91.8	50.7	-	-
35-SP	40	-	10	-	165	962	1000	122.4	-	30.0	-
35-SFP	30	10	10	-	165	-	-	91.8	25.4	30.0	-

(3) 고찰

이상의 1차실험 결과에서, 인터록킹 블록의 휨강도 및 흡수율은 물결합재비 35%에서 가장 양호한 것으로 나타났다. 그러나 이 경우에도 기준강도에 약간 미달하는 시험체가 있었으며, 기준에 합격한 시험체의 경우에도 기준강도와 거의 비슷한 강도값을 갖기 때문에, 제품으로서 기준강도에 대한 안전율을 확보하기 위해서는 단위시멘트의 양을 늘려서 강도를 더 높여야 할 것으로 판단된다.

따라서, KS F 4419의 기준에 적합한 품질을 확보할 수 있는 제품을 만들기 위해서는 물결합재비를 30%와 35%, 단위시멘트량은 320~330kg/m³으로 한 배합에 대하여 검토할 필요가 있다.

3.2.2. 2차실험 배합계획 및 결과분석

(1) 배합계획

2차 실험에서는 표-4의 배합계획에 따라 인터록킹 블록의 적정 단위시멘트량과 물결합재비를 알아 보고자 한다. 1차실험의 결과에서 인터록킹 블록의 휨강도 및 흡수율은 단위시멘트량이 300kg/m³일 때, 물결합재비 35%에서 가장 양호한 경향을 나타내었다. 그러나 강도면에서 다소 부족한 면이 있었기 때문에, 제품의 품질을 확보하기 위해서는 기준콘크리트의 강도를 더 높여야 할 것으로 나타났다. 따라서, 2차실험에서는 1차실험에서 사용한 단위시멘트량 300kg/m³을 5~10%정도 높인 320kg/m³과 330kg/m³으로 하여 2차배합계획을 작성하였다. 또한, 1차실험에서 물결합재비 25%의 경우와 35%의 경우, 거의 같은 수준의 휨강도와 흡수율을 나타내었기 때문에, 2차실험에서는 물결합재비 30%에 대해서도 고려하였다. 단, 흡수율에 대한 실험은 그림-4의 흡수율에 대한 실험결과에서 보는 바와 같이 물결합재비 30%도 합격권내에 들어갈수 있다고 판단되므로 생략한다. 한편, 2차실험에서는 시멘트에 대한 산업부산물의 치환율이 최대(50%)인 2종 이상의 산업부산물로 치환된 시험체(SF, SP, SFP)에 대해서만 한정하였으며, 휨강도 특성에 대한 시험만을 실시하였다.

(2) 결과분석

1차실험에서와 마찬가지로, 재령16일째 휨강도 시험을 실시하였다. 각 시험체 별로 3개씩 시험을 하여 평균휨강도를 구했다. 그림-5는 단위시멘트량을 320kg/m³으로 일정하게 하고 물결합재비 만을 30%와 35%로 변화시켰을때의 휨강도를 나타낸다. 그림-6은 물결합재비를 35%로 일정하게 하고 단위시멘트량을 320kg/m³과 330kg/m³으로 변화시켰을 때의 휨강도를 나타낸다. 그림-5에서 보는 바와 같이, 물결합재비 30%에서 시험체 SP와 SFP의 휨강도는 기준강도에 미달하고 있다. 이는 콘크리트의 배합 및 타설시 적은 단위수량으로 인하여 충분한 혼합이 이루어지지 못했기 때문인 것으로 판단된다. 반면, 그림-5에서 물결합재비 35%의 경우 기준콘크리트(35-C) 및 산업부산물을 혼입한 모든콘크리트가

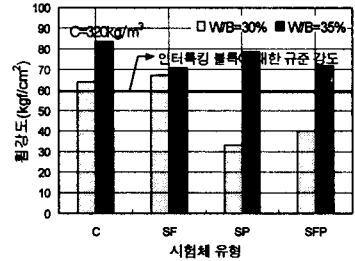


그림-5. W/B에 따른 휨강도 비교

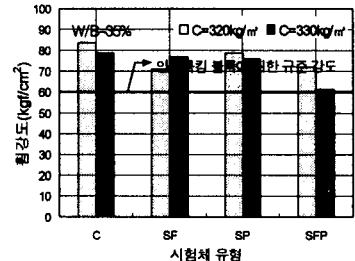


그림-6. 단위시멘트량에 따른 휨강도 비교

차도용 인터록킹 블록의 규준강도(60kgf/cm^2)에 전부 합격하는 것을 알 수 있다. 그림-6에서 보는바와 같이, 단위시멘트량을 320kg/m^3 과 330kg/m^3 으로 변화시킨 경우, 시험체 모두 KS F 4419에서 정하고 있는 차도용 인터록킹 블록의 규준강도에 합격하였다. 단위시멘트량 320kg/m^3 의 부산물 혼입콘크리트 강도와 330kg/m^3 에서의 강도는 거의 비슷한 수준의 강도값을 보이고 있으며, 물결합재비 35%, 단위시멘트량 320kg/m^3 일 때, 부산물이 혼입된 콘크리트의 휨강도는 부산물을 혼입하지 않은 기준콘크리트 (35-C)와 거의 같은 수준의 값을 나타내고 있다. 따라서 경제성을 고려한 적정 단위시멘트량은 320kg/m^3 으로 판단된다.

(3) 고찰

이상의 1·2차 실험결과를 종합해 보면, 산업부산물을 혼입한 인터록킹 블록의 제품 제조시, 기준콘크리트의 배합은 단위시멘트량 320kg/m^3 , 물결합재비 35%로 하는 것이 적절하다. 시멘트량에 대한 산업부산물의 치환율은 콘크리트 벽돌에서와 마찬가지로 최대 50%까지 하여도 KS F 4419에서 정하고 있는 차도용 인터록킹 블록에 대한 품질 규준에 적합한 것으로 나타났다.

4. 결론

산업부산물인 슬래그, 플라이애쉬, 제지슬러지애쉬를 시멘트의 대체재료로 사용하여 제조한 콘크리트 2차제품의 강도특성과 흡수율 시험을 실시한 결과, 본 연구의 범위내에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 산업부산물을 혼입한 콘크리트 벽돌의 제품 제조에 있어서, 기준콘크리트의 배합은 단위시멘트량 215kg/m^3 , 물결합재비 45%로 하는 것이 적절하다.
- 2) 산업부산물인 슬래그, 플라이애쉬, 제지슬러지애쉬를 시멘트의 일부로 최대 50%까지 치환하여 제조한 콘크리트 벽돌은 KS F 4004에서 정하고 있는 C종1급 벽돌의 압축강도에 대한 품질규준에 합격하였으나 흡수율은 기준보다 약간 큰값을 나타내고 있어 줄일 수 있는 방안이 요구된다.
- 3) 산업부산물을 혼입한 보·차도용 인터록킹블록의 제품 제조에 있어서, 기준콘크리트의 배합은 단위시멘트량 320kg/m^3 , 물결합재비 35%로 하는 것이 적절하다.
- 4) 산업부산물을 시멘트의 일부로 최대 50%까지 치환하여 제조한 인터록킹 블록은 KS F 4419에서 정하고 있는 차도용 인터록킹 블록에 대한 품질 규준에 적합한 것으로 나타났다.

참고적으로 산업부산물을 혼입한 콘크리트 2차제품인 벽돌과 인터록킹블록에 대한 내 동해성을 알아보기 위하여 동결융해 시험을 실시한 바, 중량변화와 표면손상은 전혀없었으며 계속 관찰중에 있다.

따라서, 폐기물로서 버려지는 산업부산물을 콘크리트 2차제품 제조에 적극 이용한다면, 시멘트 비용절감은 물론 산업폐기물의 재자원화로 인한 환경오염방지등에 기여 할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. D. Galeota, M. M. Giammatteo, and R. Marino, "Structural Concrete Incorporation High Volume of Fly Ash", Proceedings Fifth International Conference Milwaukee, Wisconsin, USA, pp. 25~42, 1995.
2. 신병철외 5인, "플라이애쉬 치환율 변화에 따른 인터록킹 블록의 특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회 봄 학술발표회논문집 제10권 1호, pp. 99~104, 1998.
3. 최정호외 6인, "슬래그, 플라이애쉬, 제지슬러지애쉬로 제조한 콘크리트의 성상에 관한 실험적연구", 한국콘크리트학회 봄 학술발표회논문집 제11권 1호, pp. 599~604, 1999.