

슬래그 골재를 사용한 투수성 콘크리트의 물리적 성질

최재진* · 박원태*

Physical Properties of Permeable Concrete Using Slag as an Aggregate

Jae-Jin Choi* and Won-Tae Park*

요 약 본 연구는 제철소에서 부산물로 생성되는 고로슬래그 및 제강슬래그를 골재의 일부로 대체 사용하고 고성능AE감수제를 적정량 사용하여 고품질의 투수성 콘크리트를 제조하는 것에 관한 것이다. 제강슬래그의 경우는 부피팽창을 감소시키기 위하여 살수에 의한 에이징 처리를 하여 실험에 사용하였다. 실험결과 고성능AE감수제와 슬래그를 사용하는 경우 투수계수 0.1 cm/sec 이상을 유지하는 상태에서 제령 28일의 압축강도 24MPa 정도까지의 비교적 높은 강도의 투수성 콘크리트를 제조할 수 있었으며, 에이징 처리한 제강슬래그를 대체 사용한 콘크리트에서의 이상팽창에 의한 문제점은 나타나지 않았다.

Abstract This paper discusses the physical properties of permeable high quality concrete using blast furnace slag or steel slag as a part of aggregate. In the case of steel slag, aging treatment was adopted to prevent the volume expansion. With high range water reducing agent, the concrete using slag aggregate showed compressive strength up to 24MPa at the age of 28 days and the water permeability of the concrete was over the level of 0.1 m/s in this experiment. Also, there was no expansion problem in the concrete substituted with aged slag as a part of aggregate.

Key Words : permeable concrete, blast furnace slag, steel slag, aggregate, aging, compressive strength, permeability

1. 서 론

도로의 포장에는 불투수성 포장이 주로 사용되고 있으나 1980년대부터 선진 외국에서는 투수성 아스팔트를 개발하여 보도를 중심으로 한 생활관련도로, 광장 및 주차장 등의 포장에 사용하고 있다.[1] 또한 최근에는 폴리머 시멘트 콘크리트나 폴리머 콘크리트에 투수성을 부여함으로써 강도와 내구성이 우수한 투수성 제품의 개발에 대한 연구도 이루어지고 있는데 이것은 정원이나 수영장 주변의 표층부 등에 활용할 경우 미끄러짐을 방지하며, 미적 효과를 높일 수 있어 환경친화성이 높은 재료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.[2,3,4]

그러나 투수성 폴리머 콘크리트의 제조에는 고가의 수지가 사용되므로 제한된 범위에서만 사용이 이루어지고 있고, 또한 투수성 아스팔트 포장의 경우는 여름철에 온도가 상승할 때 노면이 변형되어 투수기능이 상실되는 단점이 있다. 따라서 국내에서는 현재 보도나 자전거 도로 등의 포장에 투수성 콘크리트를 널리 사용하고 있는 실정이며 이 투수성 콘크리트의 제조에 있어서

는 골재로서 일정 크기의 굵은골재만이 사용된다.

한편 대체골재로서 선철을 만들 때 생성되는 고로슬래그는 콘크리트용으로 사용할 수 있으나 일반골재에 비하여 다공질이며 표면에 요철이 많기 때문에 일반콘크리트의 제조에 사용하였을 때 workability가 저하하며, 강도가 저하하는 경향이 있어 실제로는 콘크리트용 골재로 활용되지 못하고 매립이나 도로의 기층 또는 보조기층용으로만 이용되고 있다. 제강슬래그의 경우는 강을 제조할 때 나오는 부산물로서 이 속에 포함된 유리석회가 팽창하여 붕괴되는 성질이 있어 콘크리트용 골재로는 사용할 수 없고 거의 매립되거나 마당에 포설하여 사용하는 정도로서 활용도가 극히 낮다.[5]

따라서 본 연구에서는 고로슬래그 및 에이징(aging) 처리에 의해 안정화시킨 제강슬래그 골재를 투수성 콘크리트용 골재로서의 특성을 고찰하고 대체골재로서의 이용 방안을 검토하였다. 이때 투수성 콘크리트에서 시멘트분의 양은 그것이 굵은골재를 둘러싸 금속과 같은 빛을 띠는 막을 형성하도록 하고 시멘트분이 흘러내리지 않는 범위가 되도록 정하는 것이 좋으며[6] 투수계수는 0.1 cm/s 이상으로 하는 것이 바람직하므로[7] 이러한 기준에 따라 콘크리트의 배합을 결정하였다.

*천안공업대학 토목과

2. 실험 계획

2.1 사용재료

시멘트는 H사에서 제조한 비중 3.15의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하고 골재는 Table 1에 나타난 바와 같이 최대치수 10 mm의 부순돌(비중 2.64)과 고로슬래그(비중 2.47)를 사용하였다. 또한 제강슬래그는 비중 3.35이고 입자의 크기를 10 mm 이하로 분쇄한 다음 1개월 동안 물을 뿌려 에이징한 후 사용하였다.

혼화재료는 리그닌계의 AE감수제(WRA로 약함) 및 폴리카르본산계의 고성능AE감수제(HWRA로 약함)를

사용하였다.

2.2 콘크리트 배합

실험에 사용한 투수성 콘크리트 배합은 Table 2 및 Table 3와 같으며 슬래그 골재의 일반 부순돌과의 대체율은 고로슬래그 골재의 경우 0, 50 및 100%로 하고 제강슬래그 골재의 경우는 0, 25 및 50%로 하였다. 그리고 배합설계에 있어서 공극률은 예비실험에서 얻은 결과를 적용하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 공시체 제작 및 양생

혼합용량 100 ℓ 의 강제식 믹서(rpm 25)에 굵은골재와 시멘트를 넣고 20초간 견비빈한 다음 AE감수제 또는 고성능AE감수제를 희석시킨 물을 투입한 후 1분 30초 동안 혼합하여 콘크리트 40 ℓ 를 제조하였다.

시험체의 다짐에는 중량 2.5 kg의 램머를 30 cm의 높이에서 낙하시키는 방법을 사용하였으며 시험체의 크기

Table 1. Grading of coarse aggregate

Kind of aggregate	Retaining (%)				
	10 mm	5 mm	2.5 mm	Pan	Total
Crushed stone	1	90	8	1	100
Blast furnace slag	1	92	5	2	100
Steel slag	1	58	37	4	100

Table 2. Mixing proportions of concrete using blast furnace slag aggregate

Mix No.	W/C ¹⁾ (%)	Void ratio (%)	Slag substitution (%)	Unit weight (kg/m ³)					
				Water	Cement	WRA	HWRA	Coarse aggregate	
								Blast furnace slag	Crushed stone
A-1	36.7	20.0	0	110	300	0.9	-	0	1562
A-2	"	"	50	"	"	"	-	731	781
A-3	"	"	100	"	"	"	-	1462	0
A-4	30.0	17.0	0	120	400	1.2	-	0	1529
A-5	"	"	50	"	"	"	-	715	765
A-6	"	"	100	"	"	"	-	1430	0
A-7	30.0	22.2	0	90	300	-	3.0	0	1562
A-8	"	"	50	"	"	-	"	731	781
A-9	"	"	100	"	"	-	"	1462	0
A-10	25.0	19.3	0	100	400	-	4.0	0	1529
A-11	"	"	50	"	"	-	"	715	765
A-12	"	"	100	"	"	-	"	1430	0

1) W/C : water/cement ratio

Table 3. Mixing proportions of concrete using steel slag aggregate

Mix No.	W/C (%)	Void ratio (%)	Slag substitution (%)	Unit weight (kg/m ³)				
				Water	Cement	HWRA	Coarse aggregate	
							Steel slag	Crushed stone
B-1	30.0	22.2	0	90	300	3.0	0	1562
B-2	"	"	25	"	"	"	496	1171
B-3	"	"	50	"	"	"	991	781
B-4	25.0	19.3	0	100	400	4.0	0	1529
B-5	"	"	25	"	"	"	485	1147
B-6	"	"	50	"	"	"	970	765

및 다짐회수는 Table 4에 나타난 바와 같다. 다만 원통형 시험체는 그 윗면에 거의 같은 지름의 철판을 얹은 상태에서 다짐하였다. 그리고 다음 날 탈형하고, 20°C의 수중에서 양생하여 재령 28일에 강도시험을 하였으며, 투수시험은 재령 14일에 실시하였다.

2.3.2 실험방법

압축강도, 인장강도 및 휨강도는 한국산업규격의 방법에 따라 시험하였다. 투수시험은 흙의 정수위 투수시험에 준한 방법으로 Fig. 1의 투수시험기를 제작 사용하였으며, 수두차는 10 cm를 기준으로 하였다. 투수계수 시험용 시험체는 수중에서 10일간 표준양생한 다음 수조에서 꺼내 물기를 뺀 후 시험체의 둘레에 시멘트풀을 바르고 다시 1일이 경과하였을 때 측면에 그리스를 골고루 바른 다음 트레이싱지를 붙였다. 그리고 이것을 투수시험장치의 원통형 용기(지름 15.5 mm)에 넣은 후 시험체 윗면과 용기가 접촉하는 부분을 실리콘으로 접합시켜 시험체 측면으로부터의 누수를 방지하였다.

시험체에 물을 통과시키기 시작하여 배수가 일정하게 될 때까지 기다린 다음 60초 동안에 통과된 물의 무게를 측정하고 수두차를 확인하였으며, 투수계수(K)는 식(1)로 계산하였다. 다만 이 식은 물의 밀도가 1 g/cm³이라는 가정 하에 성립되는 식이며 분모의 60은 60초의 투수시간을 의미한다.

$$K(\text{cm/sec}) = \frac{L}{H} \cdot \frac{Q}{60 \cdot A} \quad (1)$$

여기서, L : 시료 높이 (cm), H : 수두차 (cm), Q : 60초간의 투수량 (g), A : 투수면적 (cm²)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 고로슬래그를 사용한 투수성 콘크리트의 물성

투수성 콘크리트의 강도는 시멘트풀의 물-시멘트비와 다짐의 영향을 가장 크게 받는 것으로 알려져 있다. 그리고 주어진 골재에 따라 적정 단위수량의 폭이 매우 제한되는데 단위수량이 너무 많으면 강도가 저하되며, 시멘트풀의 유동성이 커져 골재의 입자 사이를 흘러내림으로써 밀면의 공극을 막는다. 이와는 반대로 단위수량이 너무 적으면 부착이 충분히 이루어지지 않고 적절

한 다짐을 할 수 없게 되기 때문에 시멘트풀의 양은 그것이 굵은골재를 둘러싸 금속과 같은 빗을 띠는 막을 형성하도록 하고 시멘트풀이 흘러내리지 않는 범위로 정하는 것이 일반적이다.

또한 건설교통부의 도로포장설계시공지침(1994년)에서는 투수성 아스팔트 포장의 경우 투수계수 0.01cm/s를 제안하고 있으며 일본도로협회의 투수성 아스팔트 혼합물의 배합설계기준에서도 투수계수의 기준치로서 같은 값을 규정하고 있다. 그러나 투수성 콘크리트나 투수성 아스팔트의 경우 사용과정에서 투수성이 저하하기 때문에 시공직후의 투수계수는 0.1cm/s 이상으로 하는 것이 바람직하다.

따라서 Table 2와 Table 3에서는 이러한 점을 고려하여 단위수량을 정했으며, 고성능AE감수제를 사용하는 경우의 단위수량은 일반 AE감수제를 사용하는 경우보다 20kg 정도 감소되는 것으로 나타났다.

Table 5는 고로슬래그를 대체 사용하고 화학혼화제로서 일반 AE감수제를 제조자가 추천한 표준량인 시멘트 중량의 0.3% 사용한 경우와 고성능AE감수제를 시멘트 중량의 1% 사용한 투수성 콘크리트의 물성 실험결과이다.

단위시멘트량이 300kg/m³인 경우는 투수계수 0.3cm/s, 압축강도 12~14MPa 정도이었으며, 단위시멘트량 400kg/m³에서는 투수계수 0.1~0.2cm/s, 압축강도 19~21MPa 정도를 나타냈다. 이때 일반골재 대신에

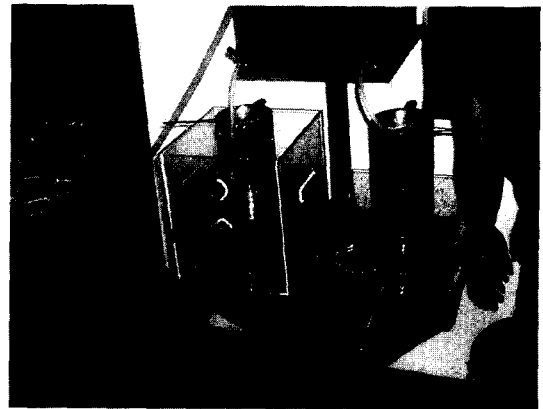


Fig. 1. Water permeability tester

Table 4. Test specimen

Test item	Specimen size	Number of compacted layers	Number of compaction/layer
Compressive strength	Φ10×20 cm	2	20
Tensile strength	Φ15×30 cm	3	30
Flexural strength	15×15×53 cm	2	100
Coefficient of permeability	Φ15×10 cm	1	30

Table 5. Physical properties of concrete using blast furnace slag aggregate

Mix No.	Comp. str. (MPa)	Coefficient of Permeability (cm/s)	Mix No.	Comp. str. (MPa)	Tensile str. (MPa)	Flexural str. (MPa)	Coefficient of Permeability (cm/s)
A-1	13.5	0.31	A-7	16.5	2.7	4.2	0.42
A-2	13.2	0.35	A-8	15.9	2.5	4.1	0.32
A-3	12.3	0.27	A-9	14.1	2.2	3.9	0.25
A-4	21.0	0.14	A-10	24.2	3.1	5.3	0.15
A-5	20.6	0.19	A-11	23.6	3.0	5.1	0.12
A-6	18.7	0.07	A-12	21.5	2.8	4.9	0.05

고로슬래그를 전량 대체 사용한 경우 약 10% 정도의 강도저하가 나타났다. 그러나 고로슬래그를 일반골재와 동일한 부피로 함께 섞어 사용하는 경우는 일반골재만을 사용한 경우와 비교하여 강도의 저하가 거의 없어 대체골재로서 양호한 특성을 나타냈다. 또한 고성능AE 감수제를 사용한 경우는 단위시멘트량 300~400kg/m³에서 재령 28일의 압축강도 14~24MPa가 얻어져 보통의 AE감수제를 사용한 경우에 비하여 15~20% 정도의 강도증진효과를 나타냈으며 고로슬래그를 일반골재와 대체 사용하는데 따른 영향은 일반 AE감수제를 사용하였을 때와 같은 경향을 나타냈다.

한편 고성능AE감수제를 사용한 경우 투수성 콘크리트의 압축강도에 대한 인장강도와 휨강도의 비는 각각 1/6~1/8 및 1/3~1/5로서 고로슬래그의 대체율에 따른 변화는 명확히 나타나지 않았다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 고로슬래그 골재는 일반 콘크리트에서보다는 투수성 콘크리트용 골재로서의 활용가치가 큰 것으로 보인다. 그 이유는 포장용의 투수성 콘크리트는 된 반죽의 것을 로울러의 전압에 의해 다짐을 하여 시공하는 경우가 많기 때문에 골재의 입형이 시공성에 미치는 영향이 일반콘크리트에 비하여 적다고 볼 수 있다. 또한 투수성 콘크리트는 투수성 확보를 위하여 인위적으로 콘크리트 속에 연속된 공극을 만들게 되며 강도도 높은 수준이 아니기 때문에 고로슬래그의 경우 그 자체의 공극이 투수성 콘크리트에서 특별한 약점으로 작용하지 않는 것으로 판단된다.

3.2 제강슬래그를 사용한 투수성 콘크리트의 물성

제강슬래그가 사용될 때 팽창 붕괴되지 않도록 하기 위한 수단으로 용융상태의 슬래그에 산소를 불어 넣거나 어떤 물질을 첨가하여 유리석회를 슬래그화 하는 개질처리방법 또는 제강슬래그를 적당한 입도로 파쇄하여 대기중이나 수중에서 반응을 촉진시킴으로써 안정화하는 에이징 방법이 사용된다.[5]

Table 6은 대기 중에 방치해둔 경우와 여기에 15일 또는 30일 동안 1일 1회 물을 뿌려 에이징한 경우 및 수중에 침지시켜 에이징한 제강슬래그의 유리석회량을 측정할 결과이다.

에이징 처리를 하기 전 제강슬래그의 유리석회량은 0.6%로 측정되었다. 이 유리석회량은 에이징 처리에 의해 감소되었는데, 건조한 대기중 보다는 물을 뿌려 습윤상태를 유지시키는 경우 또는 수중에서 유리석회의 양이 감소함을 보여 대기중에 자연상태로 방치하는 것 보다는 물을 뿌리거나 수중에 침수시키는 경우에 보다 제강슬래그의 에이징 효과가 크게 됨을 알 수 있다.

Table 7은 제강슬래그를 부피비 50%의 범위에서 부

Table 6. Free-CaO content in the aged steel slag (%)

Method	Elapsed time		
	0	15 days	30 days
Aging in field air	0.6	0.5	0.5
Water spray aging		0.3	0.2
Aging in water		0.2	0.2

Table 7. Physical properties of concrete using steel slag aggregate

Mix No.	Comp. str. (MPa)	Tensile str. (MPa)	Flexural str. (MPa)	Coefficient of Permeability (cm/s)
B-1	16.5	2.7	4.2	0.43
B-2	15.8	2.6	4.0	0.42
B-3	15.9	2.8	4.2	0.35
B-4	24.2	3.1	5.3	0.15
B-5	25.1	3.1	5.4	0.11
B-6	23.6	3.0	5.1	0.16

순돌과 대체 사용하고 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 물성 실험결과이다.

입자의 크기를 10 mm 이하로 분쇄한 다음 1개월 동안 물을 뿌려 에이징한 제강슬래그를 골재로서 사용하고 투수성 콘크리트 시험체를 제작한 후 6개월 동안 실내에 둔 경우 팽창 파괴되거나 균열이 발생하는 것을 발견할 수 없었으며, Table 7에 나타난 바와 같이 투수성능 및 압축, 인장, 휨강도 등의 특성은 일반골재를 사용한 경우와 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

따라서 제강슬래그를 에이징하여 사용하는 경우 슬래그의 대체율 50% 이하에서는 팽창 붕괴의 가능성은 적은 것으로 판단되나 보다 장기적인 검토에 의한 평가가 필요하기 때문에 현 단계에서 제강슬래그를 안전하게 사용하기 위해서는 그의 사용량을 전체골재에 대한 부피비 20%의 범위 내로 제한하는 것이 바람직하다고 생각된다.

4. 결 론

1. 골재로서 10 mm체를 통과하고 2.5 mm체에 잔유하는 부순돌, 고로슬래그 및 제강슬래그를 각각 사용한 경우 다소의 차이는 있으나, 물시멘트비 25~30%, 단위수량 90~100 kg/m³, 고성능AE감수제 1.0%(시멘트 중량비)의 배합으로 재령 28일의 압축강도 14~24MPa이며, 투수계수 0.1 cm/s 이상의 특성을 가지는 투수성 콘크리트의 제조가 가능함이 확인되었다.

2. 고로슬래그골재만을 사용한 투수성 콘크리트는 일반골재만을 사용한 경우에 비해 압축강도가 약 10% 정

도 저하되었으며, 고로슬래그 대체율 50%에서의 강도 저하는 거의 나타나지 않았다.

3. 1개월 이상 물을 뿌려 에이징 처리한 제강슬래그를 일반골재와 대체 사용하였을 때, 전체골재량에 대한 제강슬래그의 부피비가 50% 이내에서 투수성 콘크리트의 강도저하 및 균열등 특별한 문제점은 발견되지 않았다.

참고문헌

- [1] 水と舗装を考える會編, “よくわかる透水性舗装,” 山海堂, 1999.
- [2] 최재진, 황의환, “투수성 폴리머 콘크리트의 물리적 성질,” 콘크리트학회 논문집, 제14권 1호, pp.41~48, 2002.
- [3] 出村克直ほか “ポリマー混入透水コンクリートの開発,” セメント・コンクリート論文集, No. 47, pp.226-231, 1993.
- [4] 박용모, 조영국, 소양섭, “투수성 폴리머 콘크리트의 물성과 투수성능에 관한 연구,” 콘크리트학회지 제10권 6호, pp.213-222., 1998. 12.
- [5] 유정훈, “축진에이징 처리 제강슬래그 골재를 사용한 콘크리트의 특성 평가”, 한양대학교 대학원 박사학위논문, 2002.
- [6] Malhotra V. M., “No-Fines Concrete-Its Properties and Application”, ACI Journal, Vol.73, Nov., pp.628-644.A., 1976.
- [7] 安岐裕ほか “透水性コンクリート舗装の適用性に関する実験,” 道路建設, pp.52-56, 1988.