

高爐슬래그 굵은骨材의 콘크리트利用에 관한 研究

金 生 彬

〈東國大工科大学 土木工學科 教授〉

目 次

1. 序 論
2. 使用材料의 特性
 - 1-1 시멘트와 混和劑
 - 2-2 슬래그 굵은 骨材
 - 2-3 河川자갈과 河川 모래
3. 高爐슬래그 콘크리트의 워커빌리티와 強度
 - 3-1 고로슬래그 콘크리트의 워커빌리티
 - 3-2 고로슬래그 콘크리트의 強度 특성
4. 高爐슬래그 콘크리트의 耐久性
 - 4-1 콘크리트의 配合設計
 - 4-2 供試體의 製作과 試驗方法
 - 4-3 實驗結果 및 分析
5. 結 論

1. 序 論

近年에 와서 우리나라 建設工事に 쓰이는 콘크리트량이 많아지고 河川骨材의 埋藏量도 그리 많지 않으며 또한 自然環境의 保護관계로 良質의 河川骨材를 얻기가 점차 어려워지고 있는 實情이다,

이와같이 앞으로의 骨材難을 해결하기 위해서는 碎石이나 碎砂등 人工骨材나 高爐슬래그 등을 利用하지 않으면 안될 것으로 본다.

이 중에서 고로슬래그는 製鐵所에서 銹鐵을 製造할 때 副產物로서 生成되며 現在 우리나라에서 生産되는 高爐슬래그(徐冷슬래그와 水碎슬래그)는 年産 290萬톤에 이르고 있다.

徐冷슬래그는 태반이 埋立地材料에 쓰이고 道路用補助基層材料과 硅酸質肥料의 原料에 쓰이며 一部가 製鐵所 構内の 基礎施設에 쓰이고 있고, 水碎슬래그는 軟質이 生産되므로 거의가 시멘트原料에 쓰이고 있는 실정이다. 이와같은 고로슬래그가 보다 더 有益하게 活用될 수 있다면 資源이 不足한 現今에서 資源의 낭비를 막을 수 있고 또 自然環境保存에도 이바지될 것으로 본다. 따라서 本 研究에서는 고로슬래그碎石을 콘크리트用 굵은骨材로 利用하기 위한 슬래그 콘크리트의 워커빌리티와 強度諸特性을 규명하고 아울러 凍結融解試驗에 의한 耐久性을 알아 보았다. 이를 수행하기 위하여 슬래그 콘크리트는 물론 河川자갈을 쓴 보통 콘크리트에 대해서도 같은 實驗을 하여 서로 比較 검토하였으며 研究對象 및 試驗內容은 다음과 같다.

(1) 使用骨材 : 河川자갈과 고로슬래그碎石, 잔골재로서는 河川모래

(2) 굵은骨材의 最大치수 : 25mm와 40mm

(3) 混和材料 : AE 감수제와 고성능감수제

(4) 養生方法 : 蒸氣養生과 표층水中養生

(5) 施工性 : 고로슬래그 콘크리트의 워커빌리티

(6) 物理的인 특성 : 壓縮強度, 引張強度, 翫

表 2-1 시멘트의 성질

비 중	비표면적 (cm ² /g)	응결(시:분) 시		안정성	압축강도 (kg/cm ²)		인장강도 (kg/cm ²)	
		시 발	중 결		σ_7	σ_{28}	σ_7	σ_{28}
3.15	3,000	4:40	6:40	양 호	185	283	25	34

表 2-2 AE 감수제와 고성능감수제

명 칭	주 요 성 분	비 중	상 태	제 조 원
포조리스84	리그닌 슬론산염	1.12	액 체	日本日曹아스터 빌더스社
Mighty 150	β -나프타린 슬론산염 포르마린 축합물	1.06	액 체	日本花王石齡株式會社

表 2-3 고로슬래그 碎石의 化學成分 (%)

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	MnO	S
미국 ACI 201위원회	39~49	32~40	10~17	3~14	2~5	—	1.2이하
한국공업규격 (KS)	45이하	—	—	—	3 이하	—	2 이하
본 실험에 사용된 고로슬래그	42	34	15	7	0.5	0.4	0.7

強度, 附着強度 및 彈性係數

(7) 耐久性: 凍結融解試驗에 依한 耐久性指數

2. 使用材料의 特性

本研究試驗에 使用된 시멘트, AE 減水劑, 高性能減水劑, 河川骨材 및 고로슬래그碎石의 특성은 다음과 같다.

2-1. 시멘트와 混和劑

시멘트는 보통 포틀랜드시멘트로서 物理的인 값은 表 2-1과 같다.

또 AE 減水劑(포조리스 84)와 高性能減水劑(Mighty150)의 특성은 다음 表 2-2와 같다.

2-2. 슬래그 淸은 骨材

高爐슬래그는 鑛物組成上으로 불 때 鹽基度가 높으면 劣化現象에 의하여 붕괴되기 때문에 콘크리트用 骨材로서 使用하는 슬래그碎石은 化學的으로 安定하지 않으면 안된다. 따라서 各國

에서 이에 대한 규격이 제정되어 있으며 本實驗에서 使用된 고로슬래그碎石의 化學成分은 表 2-3과 같다.

또 高爐슬래그 碎石은 溶融슬래그의 冷却方法에 따라서 그 性質이 다르며 本實驗에 使用된 슬래그 碎石은 최대치수가 25~40mm로서 物理的인 性質은 表 2-4와 같으며 骨材의 程度는 콘크리트 標準示方書에 규정된 標準程度에 적합하다.

2-3 河川자갈과 河川모래

高爐슬래그콘크리트와 보통콘크리트와의 強度특성이나 凍結融解에 대한 耐久性을 比較檢討하기 위하여 보통 콘크리트의 骨材로서는 漢江에서 生産되는 河川자갈을 썼으며 이의 物理的인 性質은 表 2-5과 같다.

또 骨材로서는 高爐슬래그 콘크리트나 보통콘크리트 모두에 漢江에서 生産되는 河川모래를 使用하였는데 이의 物理的인 性質은 表 2-6과 같다.

表 2-4 고로슬래그 碎石의 物理的인 性質

최대치수 (mm)	表乾比重	吸水率 (%)	單積位重 容量 (kg/m ³)	破 碎 率 (%)	實 績 率 (%)	마 모 감 량 (%)	各체의 통과 중량의 백분율(%)								粗 粒 率
							50 mm	40 mm	30 mm	25 mm	19 mm	13 mm	10 mm	No.4 체	
25	2.63	3.50	1,500	37	57	44	-	-	100	95	69	40	20	0	7.11
40	2.54	4.10	1,590	37	62	43	100	96	-	70	48	30	19	0	7.37

表 2-5 河川자갈의 物理的 性質

최대치수 (mm)	表乾比重	吸水率 (%)	單積位重 容量 (kg/m ³)	破 碎 率 (%)	實 績 率 (%)	마 모 감 량 (%)	各 體의 통과중량의 백분율(%)								粗 粒 率
							50 mm	40 mm	30 mm	25 mm	19 mm	13 mm	10 mm	No.4 체	
25	2.70	0.6	1,705	30	63.5	29	-	-	100	96	72	40	22	0	7.06
40	2.69	0.7	1,730	30	65.8	29	100	98	-	78	50	31	16	0	7.34

表 2-6 河川모래의 物理的 性質

表 乾 比 重	吸 水 率 (%)	單積 位重 容量 (kg/m ³)	實 績 率 (%)	表 面 水 率 (%)	各체의 통과량의 백분율(%)							粗 粒 率
					10 mm	No.4 체	No.8 체	No.16 체	No.30 체	No.50 체	No.100 체	
2.58	1.32	1,550	59.4	1.10	100	100	92	74	50	16	7	2.61

上記의 고로슬래그碎石(表 2-4)과 河川 자갈(表 2-5)의 物理的인 性質을 比較할 때 고로슬래그碎石은 内部에 공극이 많은 多孔質 골재로서, 吸水率이 크며(河川자갈에 비해 약 5배), 比重이나 單位容積重量이 작다. 또 河川자갈에 비하여 마모감량도 50%정도 크며 굵은골재의 破碎試驗(KSF 2541)에 의한 파쇄율도 23%정도 크기 때문에 고로슬래그碎石 그 自体는 河川자갈에 비하여 모든 면에서 弱한 骨材라 할 수 있다.

3. 高爐슬래그 콘크리트의 워커빌리티와 強度

3-1 고로슬래그 콘크리트의 워커빌리티

粒度를 一定하게 한 고로슬래그 碎石과 河川자갈을 쓴 아직 굳지 않은 콘크리트에 대하여

콘크리트의 물-시멘트비(W/C=45%와 50%)를 일정하게 하고 單位水량을 증가시켰을 때의 슬럼프의 값을 측정하였으며 한 예를 그림 3-1에 표시하였다. 이때 굵은골재의 최대치수는 각각 25mm, 40mm로 混和劑로서는 포조리스 84(AE 감수제)를 사용하였다. 그림 3-1에서 보는 바와 같이 같은 水량을 사용하였을 때 슬래그 콘크리트는 보통 콘크리트에 비하여 슬럼프가 떨어지고 아울러 워커빌리티도 좋지 못하다. 이것은 고로슬래그碎石은 粒形이 모가나 있고 또 表面도 거칠기 때문이다.

그림 3-1(a)와 (b)에서 슬럼프의 범위 7~12cm인 경우, 동일 슬럼프값을 얻기 위해서는 Non AE 콘크리트에서는 15~20kg을 또 AE 콘크리트에서는 10kg 정도의 單位水량을 슬래그 콘크리트에 대하여 더 증가시켜 주어야 한다. 그러나 Non AE 보통 콘크리트(그림 (b)의 실선)

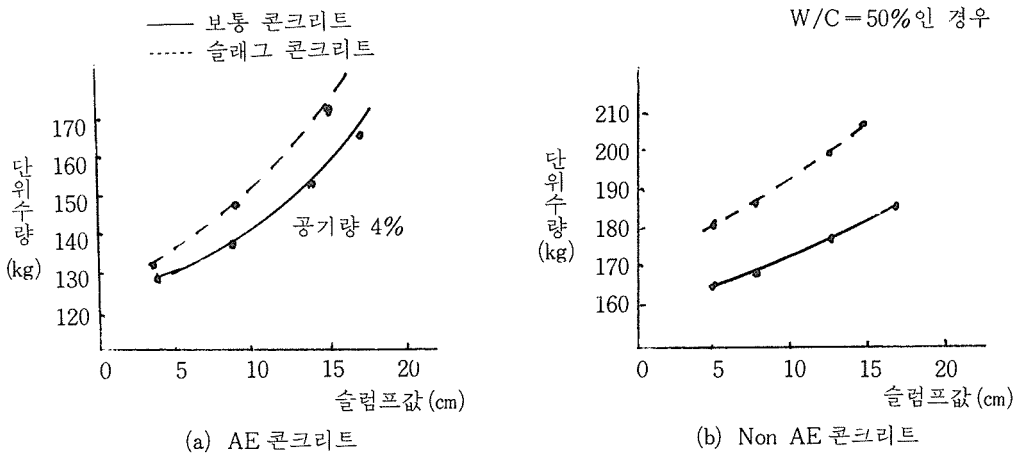


그림 3-1 단위수량과 슬럼프와의 관계 ($G_{max} = 25mm$)

와 AE 슬래그 콘크리트(그림 (a)의 파선)와를 比較할 때 같은 슬럼프값을 얻기 위한單位水量은 오히려 고로슬래그 쪽이 작으므로 워커빌리티를 좋게 하기 위해서는 슬래그콘크리트로 AE제의 사용이 절실히 요구된다.

3-2. 고로슬래그 콘크리트의 강도 특성

1) 配合設計와 諸強度測定

고로슬래그 콘크리트와 河川자갈 콘크리트에 대하여, 굵은 골재의 最大치수 25mm ($G_{max} = 25$)

(a) Non AE 콘크리트

表 3-1 콘크리트 配合表

G_{max} (mm)	골재의 종류	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	단위수량 (kg)	시멘트량 (kg)	w/c (%)	s/a (%)	잔골재 (kg)	굵은골재 (kg)	기호
25	하천 자갈	8.5	2.2	168	373	45	39	713	1,150	R25·45
		7.8	2.2	168	336	50	40	741	1,150	R25·50
	고로슬래그	9.5	2.5	185	411	45	42	733	1,028	S25·45
		7.5	2.7	185	370	50	43	767	1,031	S40·50
40	하천 자갈	9.0	2.2	160	291	55	37	707	1,247	R40·55
		8.2	1.7	160	267	60	38	733	1,239	R40·60
	고로슬래그	9.0	2.7	175	318	55	39	723	1,108	S40·55
		8.5	2.7	175	292	60	40	753	1,095	S40·60

(b) AE 콘크리트(혼화제는 시멘트 100kg에 대해 포조리스 84를 200cc 사용)

25	하천 자갈	8.5	4.0	134	298	45	36	686	1,264	AR25·45
		9.5	3.7	134	268	50	37	705	1,245	AR25·50
	고로슬래그	8.5	3.7	145	322	45	39	728	1,157	AS25·45
		9.5	3.9	145	290	50	40	756	1,150	AS25·50
40	하천 자갈	8.5	3.8	140	255	55	35	675	1,310	AR40·55
		8.3	3.7	140	233	60	36	702	1,288	AR40·60
	고로슬래그	9.0	3.8	141	256	55	37	704	1,176	AS40·55
		8.5	3.7	141	235	60	38	731	1,166	AS40·60

表 3-2 보통콘크리트에 대한 슬래그 콘크리트의 강도비

기 호	압축강도 (kg/cm ²)			인장강도 (kg/cm ²)			휨 강도	부착강도	탄성계수
	증기양생	재령 7 일	재령 28 일	증기양생	재령 7 일	재령 28 일	재령 28 일	재령 7 일	재령 28 일
R 25·45	100 (159)	100 (249)	100 (281)	100 (18)	100 (28)	100 (29)	100 (51)	100 (79)	100 (296, 660)
S 25·45	114	89	101	100	93	117	104	115	105
R 25·50	100 (134)	100 (203)	100 (231)	100 (13)	100 (25)	100 (28)	100 (37)	100 (75)	100 (288, 470)
S 25·50	131	101	113	131	100	107	127	104	135
R 40·55	100 (90)	100 (166)	100 (208)	100 (10)	100 (20)	100 (22)	100 (12)	100 (81)	100 (281, 580)
S 40·55	87	95	94	100	80	105	95	104	96
R 40·60	100 (58)	100 (107)	100 (176)	100 (7)	100 (17)	100 (19)	100 (37)	100 (79)	100 (252, 350)
S 40·60	98	118	90	114	76	89	95	100	102
슬래그평균강도 (%)	108	101	100	111	87	105	105	106	110

AR 25·45	100 (129)	100 (187)	100 (227)	100 (14)	100 (21)	100 (28)	100 (45)	100 (69)	100 (285, 560)
AS 25·45	84	93	101	107	110	89	109	107	103
AR 25·50	100 (107)	100 (155)	100 (190)	100 (12)	100 (20)	100 (26)	100 (44)	100 (68)	100 (266, 950)
AS 25·50	94	85	59	92	95	92	100	103	91
AR 40·55	100 (106)	100 (104)	100 (179)	100 (12)	100 (16)	100 (24)	100 (37)	100 (68)	100 (261, 150)
AS 40·55	123	107	86	125	100	79	103	103	86
AR 40·60	100 (85)	100 (88)	100 (133)	100 (11)	100 (11)	100 (16)	100 (29)	100 (64)	100 (218, 980)
AS 40·60	131	110	106	127	109	106	99	100	90
슬래그평균강도 (%)	108	99	97	113	104	92	101	103	93

mm)일 때는 물·시멘트비를 45%, 50%로 하고, G_{max}=40mm일 때는 물·시멘트비를 55%, 60%로 하여, 슬럼프 값이 7~10cm되도록 試의配合設計한 各種콘크리트에 대하여 고로슬래그碎石이 콘크리트强度에 미치는 영향을 알아보기 위해 各供試体마다 3개씩을 만들어 KS에 준하여 시험하였다.

試驗配合에 의한 콘크리트의 配合表는 表 3-1과 같으며 AE 콘크리트에서는 공기량의 目標값

을 3.5±0.5(%)로 하기 위하여 혼화제로서 포조리스84를 시멘트 100kg에 대하여 200cc를 사용하였다. 表 3-2는 이들 供試体를 실측한 平均 값으로 보통 콘크리트에 對한 슬래그콘크리트의 强度比를 %로 나타냈으며 괄호 속의 數字는 보통 콘크리트의 實測强度 값이다.

2) 壓縮强度

壓縮强度는 콘크리트 제 强度의 尺度가 되는 强度로서, 早期의 强度를 알아보기 위하여 蒸氣

養生후의 압축강도와 水中養生에 대한 材齡 7日 및 材齡 28日에서의 各 供試體에 對하여 試驗하였으며 壓縮強度用 供試體는 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 로 제작하였다. 증기양생시의 시간과 양생온도와와의 관계는 그림 3-2와 같고 또 水中養生時의 물의 온도는 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 하였다.

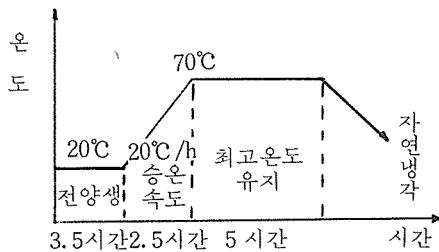


그림 3-2 증기양생

壓縮強度는 물-시멘트비나 材齡에 따라 相異한데 養生 및 材齡別에 따른 壓縮強度와의 관계를 1例로 그린 것이 그림 3-3이다.

위어커빌리티가 비슷한 條件(슬럼프 값으로 7~10cm)의 슬래그콘크리트와 보통 콘크리트에 대한 壓縮強度比의 값이 表 3-2에 表記하였는데 兩者間의 상관관계를 알아 보면, 우선 壓縮強度가 比較的 작은 蒸氣發生에서는 AE콘크리트나 Non AE 콘크리트 다같이 슬래그콘크리트의 壓縮強度가 8% 정도 높게 測定

되었고, 材齡 7日에서는 兩者가 거의 비슷한 強度를 보였으며, 材齡 28日에서는 Non AE 콘크리트에서는 거의 같고 AE 콘크리트에서는 보통콘크리트 쪽이 壓縮強度 3% 정도 높게 測定 되었다.

事實 고로슬래그 碎石 그 자체의 強度는 앞에서 논한 바와 같이 강자갈에 比하여 낮은데 이를 콘크리트用 골재로서 사용하여 複合材인 콘크리트를 만들 때 그 強度가 보통콘크리트에 比하여 떨어지지 않는 理由로서는 고로슬래그의 粒表面이 거칠기 때문에 表面의 凹部에 모르타가 침투하여 고로슬래그 骨材界面과의 結合強度를 높이는 데 있다고 본다.

3) 引張強度와 휨強度

그림 3-4는 材齡別에 따른 인장강도와와의 관계를 그린 1 예이다. 굵은골재의 최대치수가 25mm, 물-시멘트비 50%인 경우의 인장강도는 Non AE 콘크리트에서는 슬래그콘크리트가 높았고, AE 콘크리트에서는 보통콘크리트가 약간 높은 경향으로 나타났다. 그러나 굵은골재의 최대치수가 40mm, 물-시멘트비 60%인 경우에는 위와는 정반대의 현상으로 측정되었다. 전체적인 관점에서 볼 때 表 3-2에서와 같이 증기양생에서는 슬래그콘크리트의 인장강도가 12% 높았으나 재령 7일에서는 거의 비슷하고 材齡 28日에서는 보통콘크리트의 인장강도가 2% 정도

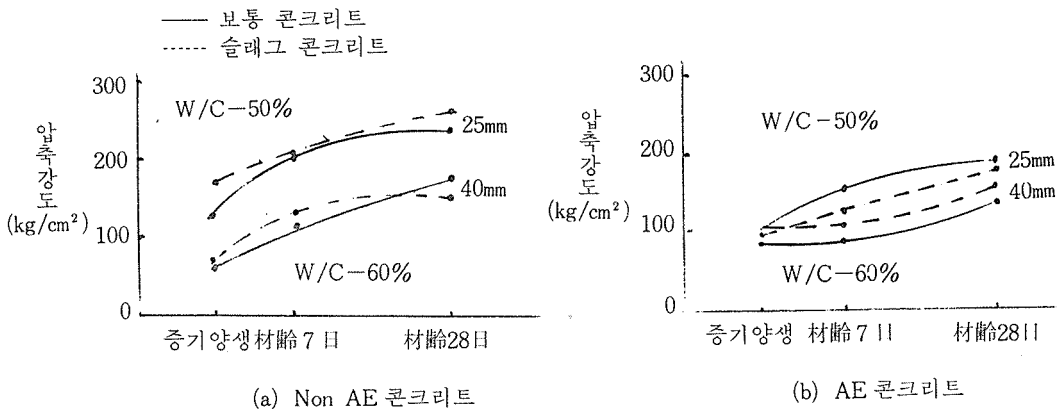


그림 3-3 콘크리트의 材齡과 압축강도와의 관계

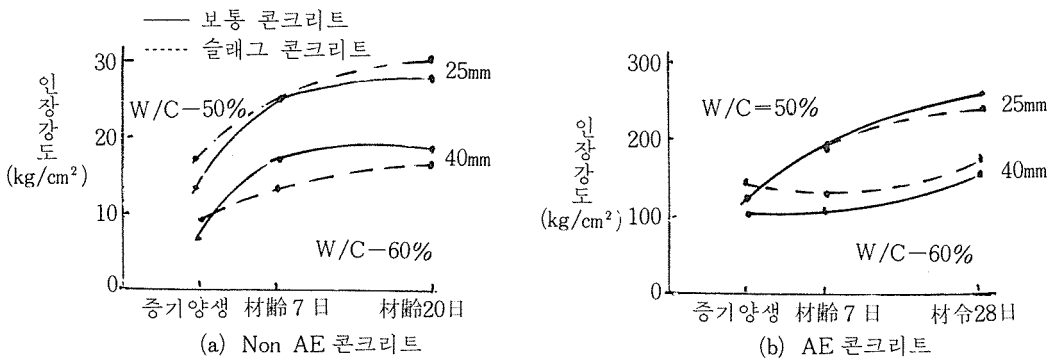


그림 3-4 콘크리트의 재령과 인장강도와와의 관계

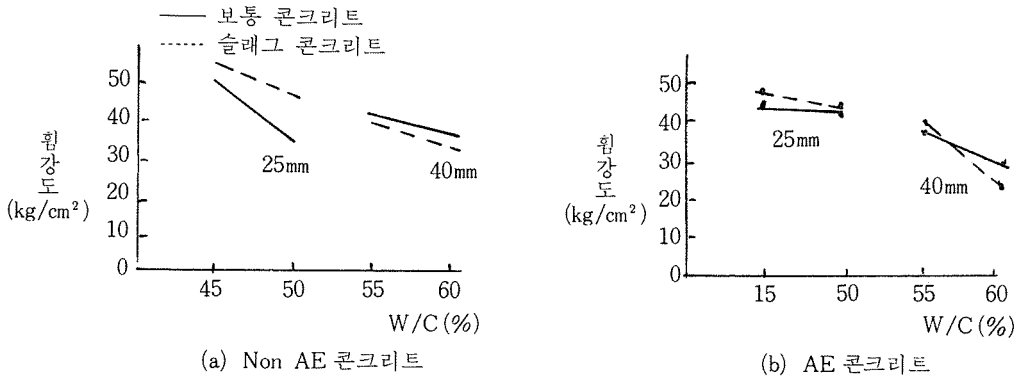


그림 3-5 물-시멘트비와 휨강도와와의 관계

높게 측정되었다.

또 그림 3-5는 물-시멘트비(w/c)와 휨 강도와와의 관계를 나타낸 1 예이다. 굵은골재의 최대 치수가 25mm인 경우 w/c가 40~50% 사이에서는 Non AE 콘크리트나 AE 콘크리트 모두에서 슬래그콘크리트의 휨강도가 좀 높았으나, 굵은골재의 최대치수가 40mm인 경우 w/c가 55~60% 사이에서는 대체로 보통콘크리트의 휨강도가 약간 높은 값을 보이고 있다.

4) 부착강도와 탄성계수

철근과 콘크리트와의 부착성을 알아 보기 위하여 부착강도 실험을 하였으며 이때 사용된供試體는 $\phi 10 \times 20$ cm의 콘크리트 속에 이형철근 D10을 매립하여 잡아 빼기시험에 의한 最大附着強度를 測定하였다. 測定機械는 萬能試驗機 200ton(日本, Shimazu 社製品)을 使用하였다.

슬래그 콘크리트와 보통콘크리트의 부착강도 測定값은 表 3-2에서와 같이 슬래그콘크리트의 값이 보통콘크리트의 값보다 Non AE 콘크리트에서는 6% 증가하고, AE 콘크리트에서는 3% 정도 증가된 값으로 측정되었기 때문에 고로슬래그 碎石이 河川자갈보다 부착성에서 우수함을 보여주었다.

또 콘크리트의 彈性係數는 $\phi 15 \times 30$ cm의 콘크리트 門筒供試體를 제작하여 靜彈性係數 測定用 콤프레서 미터에 의하여 材齡 28日에서 측정하였다. 表 3-2에서 보는바와 같이 彈性係數의 測定값은 Non AE 콘크리트에서는 대체로 슬래그 콘크리트의 값이 보통콘크리트의 값보다 10% 정도 높았고, AE 콘크리트에서는 7% 정도 낮게 측정되었다.

4. 高爐슬래그 콘크리트의 耐久性

4-1. 콘크리트의 配合設計

슬래그콘크리트와 보통콘크리트(河川 자갈을 쓴 콘크리트)와의 凍結融解試驗에 의한 耐久性을 比較하기 위해 AE 감수제를 사용한 AE콘크리트와 高性能減水劑를 쓴 高强度콘크리트를 만들어 실험하였다.

굵은골재의 最大 치수는 $G_{max}=25mm$ 와 $40mm$ 에 대하여 또 물-시멘트비는 $w/c=45\%$, 50% , 55% 및 60% (AE 콘크리트인 경우)를 썼으나 고성능 감수제(Mighty 150)를 쓴 경우에는 혼입량에 따라서 $w/c=27\%$ 까지 감소되었다.

AE 감수제(포조리스 84)는 시멘트 100kg에 대하여 180cc를 사용하고, Mighty 150은 0%, 1.2%, 1.8% 및 2.4%로 하여 配合設計하였으며 이의 綜合配合表는 表 4-1과 같다.

4-2 供試體의 製作과 試驗方法

콘크리트의 비비는 實驗實用 54ℓ의 重力式 믹서를 사용하여 모든 材料를 投入한 후 공비빔 1分에 注水後 3分間 비빈다.

凍結融解試驗用 供試體는 가로 10cm, 세로 14cm, 길이 40cm의 角柱形으로 콘크리트를 비빈 후 거푸집에 成型 1日間 實驗室에 두었다가 그 후 13日間 水中養生한 후 시험한다.

供試體는 2個씩 만들어 시험하였으며 凍結融解시험은 KSF-2456에 규정한 “공기중 急速凍結 및 水中急速融解 試驗法”에 의해 규정된 300cycle까지 作動시키는데 콘크리트 供試體가 약한 경우에는 300cycle까지 못가서 劣化하므로 이 때에는 相對動彈性係數가 60이 될 때 作動을 정지시킨다.

凍結融解 cycle은 $-17.8^{\circ}C \sim +4.4^{\circ}C$ 의 온도 범위에서 1cycle의 所要시간은 약 2.5시간으로

表 4-1(a) 슬래그 콘크리트의 配合表(※ 공기량은 겉보기 공기량임)

混和劑	G_{max} (mm)	단위수량 W (kg)	단 위 시멘트량 C (kg)	W/C (%)	s/a (%)	잔골재량 S (kg)	굵 은 골 재 량 G (kg)	혼화제량 (시멘트) \ 100kg	슬 럽 프 (cm)	※공기량 (%)	기 호
포조리 스 84	25	145	322	45	39	728	1,157	180cc	6.0	4.0	AS-1
			290	50	40	756	1,150		8.0	4.5	AS-2
	40	141	256	55	37	704	1,180	180cc	7.2	5.0	AS-3
			235	60	38	731	1,172		7.1	5.0	AS-4
Mighty 150	25	185	500	37	37	619	1,070	0	5.5	3.0	MS-0
				31	38	666	1,103	1.2kg	6.0	3.1	MS-1
				28	39	699	1,110	1.8kg	5.8	2.2	MS-2
				27	40	722	1,099	2.4kg	4.5	2.3	MS-3

表 4-1(b) 보통 콘크리트의 配合表

포조리스 84	25	136	302	45	35	665	1,275	180cc	8.0	3.0	AR-1
			272	50	36	692	1,278		8.3	3.2	AR-2
	40	139	253	55	34	660	1,298	180cc	8.5	3.5	AR-3
			232	60	35	683	1,320		7.5	3.5	AR-4
Mighty 150	25	185	500	37	34	574	1,150	0	6.5	1.3	MR-0
				31	35	679	1,185	1.2kg	5.5	2.0	MR-1
				28	36	650	1,193	1.8kg	5.0	1.6	MR-2
				27	37	676	1,193	2.4kg	7.0	1.6	MR-3

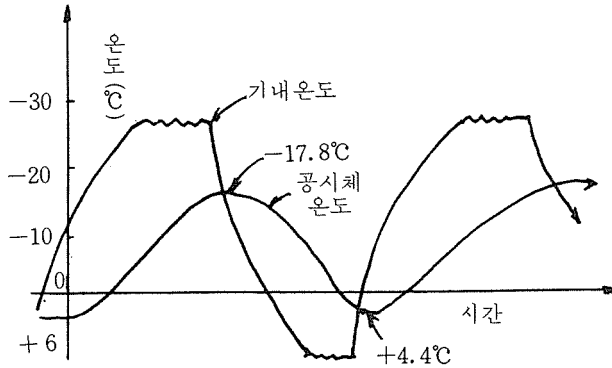


그림 4-1 기내온도와 공시체의 온도경로

시험하였으며 代表的인 1cycle에 대한 器内温度와 供試体の 温度 경로는 그림 4-1 과 같다.

凍結融解試驗에 따른 콘크리트의 劣化의 尺度는 耐久性指數(Durability Factor : D. F) 로 表示하며(그림 4-3 참조), 凍結融解試驗機는 Marui(日本)會社 製品의 全自動 凍結融解試驗機를 썼고(사진-1), 動彈性係數의 測定量도 역시 Marui會社製品의 Ultra Soniscope(사진-2 참조)이다.

4-3 實驗結果 및 分析

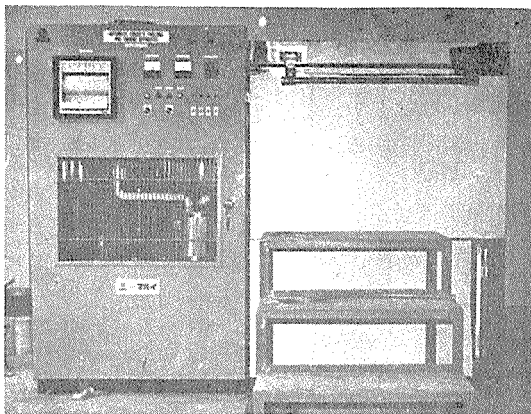
만들어진 供試体에 대하여 試驗한 結果가 表

4-2에 표시하였다.

1) 壓縮強度와 動彈性係數

凍結融解시험은 供試体の 材令 14日에 대하여 실시하였으며, 시험 직전에 壓縮強度와 動彈性係數를 측정하였다. 측정결과가 表 4-2에 있으며 포조리스 84 를 쓴 AE 콘크리트와 Mighty150을 쓴 고강도 콘크리트에 대한 壓縮強度와 動彈性係數와를 비교한 것이 그림 4-2이다.

그림에서 보는바와 같이 壓縮強度와 動彈性係數와는 일반적으로 比例關係를 나타냈고, 動彈性係數의 값은 일반적으로 슬래그콘크리트가



[사진-1] 自動 凍結融解試驗機



[사진-2] Ultra Soniscope

表 4-2(a) 슬래그 콘크리트의 시험결과

공시체 기호	시험전 재령 14일		동 결 용 해 시 험 후				
	압축강도 (kg/cm ²)	동탄성계수 (kg/cm ²)	최종 cycle 수	상대동탄성 계수	耐久性指數	압축강도 (kg/cm ²)	강도저하율 (%)
AS-1	259	555,320	120	60	24	216	17
AS-2	222	542,330	46	60	9	187	16
AS-3	187	531,030	38	60	8	169	10
AS-4	145	467,620	12	60	3	130	10
MS-0	387	532,000	30	60	6	250	35
MS-1	453	571,520	111	60	22	258	43
MS-2	509	587,750	203	60	41	283	44
MS-3	519	625,000	300	91	91	413	20

表 4-2(b) 보통 콘크리트의 시험결과

AR-1	228	445,980	187	60	37	170	25
AR-2	185	440,590	159	60	32	138	25
AR-3	157	437,560	48	60	10	128	18
AR-4	125	425,640	45	60	9	113	10
MR-0	326	470,590	102	60	20	201	38
MR-1	380	483,030	113	60	23	220	42
MR-2	425	490,920	188	60	38	268	37
MR-3	438	515,290	260	60	52	303	31

보통콘크리트보다 크게 나타났으며, 고강도콘크리트가 AE 콘크리트보다 크게 측정되었다.

2) 相對動彈性係數와 耐久性指數

表 4-2(a), (b)의 凍結融解試驗結果에서 포조리스 84를 사용한 AE 콘크리트와 Mighty150을 사용한 고강도 콘크리트에 대해 凍結融解 cycle數와 相對動彈性係數와의 관계를 그림으로 나타낸 것이 그림 4-3이다.

(1) AE 콘크리트에 대하여

슬래그 콘크리트(공기량 4~5%)나 보통콘크리트(공기량 3~3.5) 모두가 물-시멘트비가 커짐에 따라서(45%~60%) 耐久性指數가 작아지며 즉 슬래그 콘크리트에서는 24에서 3으로 또 보통콘크리트에서는 37에서 9로 되어 어떤 경우는 耐久의인 콘크리트를 만들기 위해서는 물-시멘트비를 작게해야 됨을 알 수 있다. 특히 슬래그 콘크리트에서는 공기량보다는 물-시멘트의 영향이 耐久性에 더 큰 관계가 있음을 보여

주었다.

(2) 고강도 콘크리트에 대하여

단위 시멘트량 500kg에 Mighty150의 混入量을 增加할수록 물-시멘트비가 감소되고 아울러 콘크리트의 耐久性도 向上되었다.

Mighty 150의 사용량을 시멘트 100kg에 대해 2.4%를 쓴 경우, 耐久性 指數는 슬래그 콘크리트에서 91(최종 cycle수 300)이고 보통 콘크리트에서는 52(260cycle에서 相對動彈性係數 60이 됨)로 되어 슬래그 콘크리트 쪽이 더 큰 耐久性을 보여 주었다.

그러나 Mighty를 사용치 않은 Plainn Concrete에 대한 耐久性指數는 슬래그 콘크리트에서 6이고 보통 콘크리트에서 20으로 측정되었으므로 슬래그 콘크리트인 경우 단위시멘트량을 많이 써서 強度를 높인다해도 물-시멘트비를 줄이지 않는 한 耐久性이 좋은 콘크리트를 만들기가 어려움을 보여 주었다.

5. 結 論

以上에서 論한 바와 같이 本研究實驗에서 얻은 資料에 의하면 다음과 같은 몇가지 事實을 밝힐 수 있다.

(1) 高爐슬래그 碎石은 角形이고 表面이 거칠기 때문에 슬래그 콘크리트의 워커빌리티는 같은 粒度를 갖는 보통 콘크리트에 比하여 낮다. 즉 슬럼프 값이 5~15cm 정도에서 같은 반죽질기를 얻기 위해서는 굵은 骨材의 最大치수가 25mm일 때, Non AE 콘크리트에서는 單位水量을 15~24kg를, 또 AE 콘크리트에서는 5~12kg 정도 슬래그 콘크리트에 대해 더 첨가해야 한다. 그러나 슬래그 콘크리트에서 AE 감수제를 적당히 첨가시킴으로써 Non AE 보통 콘크리트 보

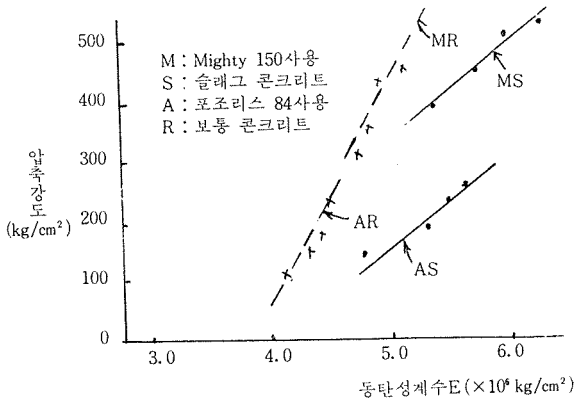
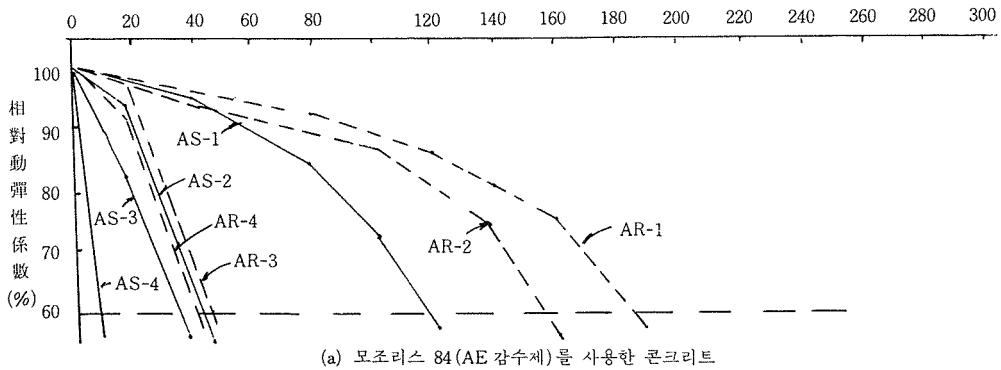
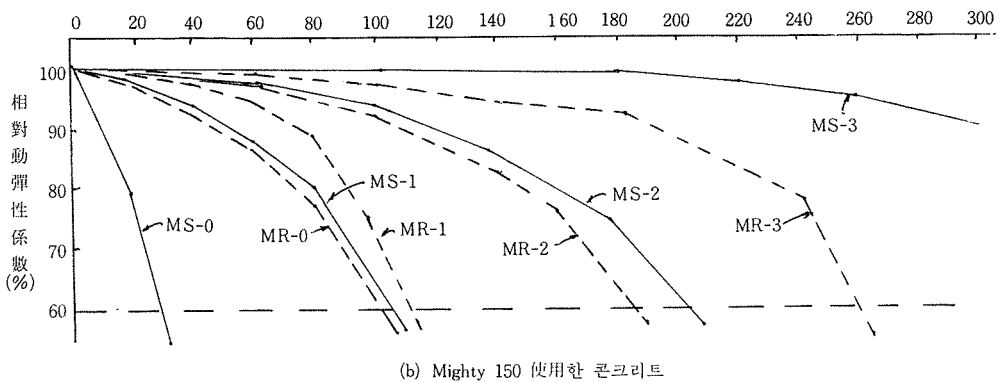


그림 4-2 압축강도와 動彈性係數와의 관계



(a) 모조리스 84(AE 감수제)를 사용한 콘크리트



(b) Mighty 150 使用한 콘크리트

그림 4-3 凍結融解 Cycle 수와 相對動彈性係數

다는 같은 슬럼프 값(예로서 10cm)을 얻는데 단위수량을 감소(20kg 감소)시킬 수 있으므로 슬래그 콘크리트에서는 AE제나 감수제의 사용이 요망된다.

(2) 壓縮強度를 比較할 때 슬럼프 값을同一하게 한 슬래그 콘크리트와 보통 콘크리트의 壓縮強度比는 表 3-2에서 보는 바와 같이 蒸氣養生에서는 슬래그 콘크리트가 8% 높았고, 材令 7日에서는 거의 같으며, 材令 28日에서는 보통 콘크리트가 약 2% 정도 크게 측정되었다.

(3) 其他의 強度比로서 引張強度比는 蒸氣養生에서는 슬래그 콘크리트가 약 12% 높고, 材

令 28日에서는 平均 1%정도 보통 콘크리트가 높게 측정되었다. 또 韌強度比는 전체적으로 볼 때 슬래그 콘크리트가 약 3%정도 높게, 附着強度比 역시 슬래그 콘크리트 쪽이 약 4%정도 높게 측정되었다.

(4) 슬래그 콘크리트에서 耐久性を 높이기 위해서는 공기량 조정보다는 물-시멘트비를 감소시키는 것이 더욱 바람직하고, 單位시멘트량이 많이 쓴 高強度 콘크리트에서는 減水效果가 큰 高性能減水劑를 알맞게 씌으로써 슬래그 콘크리트의 耐久性を 더욱 向上시킬 수 있다고 본다.

參考 文獻

1. 吉田彌智：“高爐슬래그本 粗骨材として用いれ 콘크리트의 強度에關する 基礎研究”，セメント・コンクリート，No. 260，pp. 20~26，1968
2. 小玉克己：“高爐슬래그의 콘크리트への利用に關する研究”，日本土木學會論文報告集，第298號，pp. 109~122，6，1980
3. 大内，陵，加藤：“高爐슬래그碎石を用いれ高強度콘크리트의 壓縮強度特性に關する 基礎的 實驗研究”，日本土木學會 第35回 年次學術講演概要集，pp. 217~218，5，1980.
4. 小林正凡，四中弘：“高爐急冷슬래그砂さ用いれ콘크리트의 氣泡組織について”，日本콘크리트工學 第2回 年次講演會講演論文集，pp. 41~44，5，1980
5. 韓國工業規格協會：콘크리트용 고로슬래그 굵은골재，KSF 2544，1981
6. 金光鎰，金光男，李泰雨，李勳鍾：“鐵鋼SLAG”，大韓土木學會誌，第29卷，第4號，pp. 14~22，8，1981.
7. 金生彬：“高強度 콘크리트의 耐久性에 관한 研究”，大韓土木學會論文集，第1卷，第1卷，第1號，pp. 9~19，12，1981.
8. 金生彬，權鎭東：“콘크리트骨材로서 고로슬래그의 利用에 관한 研究”，東國大産業科學技術研究所，研究報告，Vol 2，pp. 3~12，1982
9. 韓國工業規格協會：急速凍結融解에 대한 콘크리트의 抵抗試驗方法，KSF-2456，1981.
10. 金生彬，權鎭東：“高性能減水劑를 使用한 콘크리트의 高強度化에 관한 研究”，東國大學校，大學院論文集 第22輯，pp. 311~325，1983.
11. T. C. Powers：Resistance to Weathering - Freezing and Thawing，ASTM SP. Tech. Publicn. No. 169，pp. 182~87，1956.
12. 長瀧重義：高強度コンクリートの 諸性質，Concrete Journal，JVI，Vol. 14，No. 3，pp. 38~41，1976.
13. Woods，Hubert：Observations on the Resistance of Concrete to Freezing and Thawing，ACI Journal，Proceedings V. 51，No. 4，pp. 345~352，1954