

有望한 콘크리트용 新素材와 그 活用方案 (Ⅱ)

柿崎正義

〈鹿島建設(株) 技術研究所 主管研究員〉

目 次

1. 序 言
2. 실리카흙에 대하여
 - 1) 概 要
 - 2) 基本的 性質
 - 3) 실리카흙 콘크리트의 性質
 - 4) 실리카흙 콘크리트의 장점 및 有効利用
3. 高爐슬래그 微粉末에 대하여
 - 1) 概 要
 - 2) 基本的 性質
 - 3) 굳지 않은 콘크리트의 性質
 - 4) 硬化한 콘크리트의 性質
 - 5) 高爐슬래그 微粉末 모르타·콘크리트의 長點 및 有効利用
4. 無機系 早強混和材(아람系 鑛物)
 - 1) 概 要
 - 2) 基本的 性質
 - 3) 콘크리트의 性質
 - 4) 아람系 鑛物 콘크리트의 長點 및 有効利用
5. 맺는말

3. 高爐슬래그 微粉末에 대하여

1) 概 要

高爐슬래그 微粉末은 이전에 混合粉碎方式에서 얻어졌으나 근년에 와서 分離粉碎方式이 주류를 이루게 됨으로써 高爐슬래그 微粉末이 사용되게 되었으며 콘크리트의 耐久性, 高強度化 또는 省資源·省에너지의 관점에서 주 목 받게 되었다. 土木學會에서는 高爐슬래그 微粉末의 規格(案)의 작성이 진행되고 또 「高爐슬래그 混和材研究小委員會」에서 사용방법 등에 대하여 검토하고 있다. 日本建築學會의 JASS 5에는 「海水의 작용을 받는 콘크리트」에 대하여 高爐슬래그 微粉末이 有効하다고 보고되어 있다. 한편의 국에서는 콘크리트의 高強度化, 化學抵抗性, 알카리骨材反應의 억제수단으로 사용하고 있다.

일본에서도 高爐슬래그 微粉末의 이용에 관한 연구는 일부 연구자에 의해 진행되고 있으며 高爐슬래그 微粉末을 사용한 콘크리트 품질의 개선이 인정되고 있어서 앞으로 점차 利用度가 높아질 것으로 보인다.

2) 基本的 性質

高爐슬래그微粉末은 急冷한 유리질 高爐슬래그를 분쇄한 것이기 때문에 조개껍질 모양의 破面을 가지며 比表面積 $5,000 \sim 10,000 \text{ cm}^2/\text{g}$, 比重 2.9 정도, 塩基度 1.8~1.9, 유리比率 97% 이상의 灰白色이다. 또 高爐슬래그 微粉末에는 製鐵所에 따라 석고를 첨가한 것과 첨가하지 않은 것이 있다.

3) 굳지 않은 콘크리트의 性質

(a) 슬럼프

슬럼프는 高爐슬래그의 첨가율과 함께 증가한다. 그러나 比表面積이 약 $8,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 인 경우는 첨가율이 증대되면 無添加와 거의 같게 된다. (圖-22) 그것은 空氣量이 적어짐에 기인한 것이다.

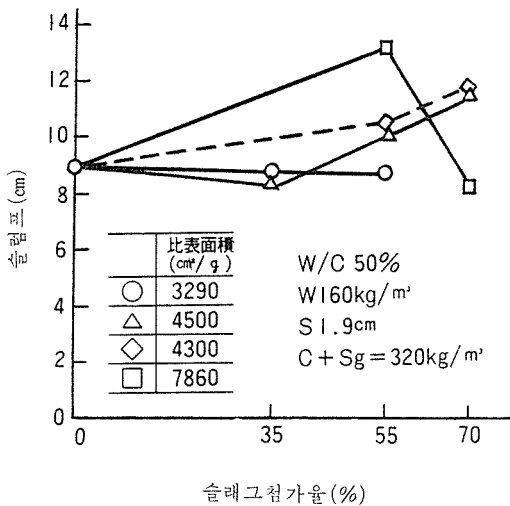


圖-22. 콘크리트의 슬럼프와 슬래그 첨가율

(b) 單位水量

같은 슬럼프를 얻기 위한 單位水量은 高爐슬래그微粉末의 첨가 60%까지 보통 콘크리트와 거의 같다.

(c) 잔골재율

잔골재율은 高爐슬래그微粉末 첨가율 20% 증

가에 따라 0.4% 감하여 워커블한 콘크리트가 얻어진다.

(d) 블리딩률

블리딩율은 高爐슬래그微粉末의 첨가량이 증가하면 감소하는 경향이 있으며 80%를 첨가하면 거의 생기지 않는다. (圖-23) 또 高爐슬래그 첨가율이 블리딩율에 미치는 영향은 고로슬래그의 粉末度에 따라 다르다.

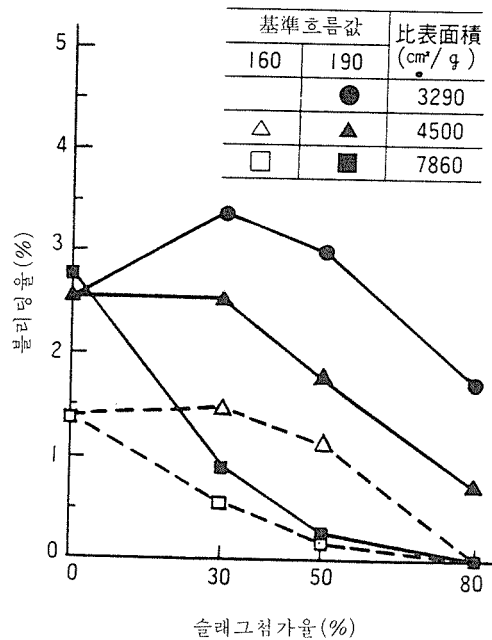


圖-23. 모르터의 블리딩율

(e) 空氣量

空氣量은 高爐슬래그 첨가율의 증가에 따라 감소한다. 그중 粗粒의 슬래그는 空氣量의 감소 경향이 거의 인정되지 않지만 比表面積이 큰 것을 사용하면 감소가 현저하다. (圖-24)

4) 硬化한 콘크리트의 性質

(a) 粉末度에 따른 壓縮強度

모르터의 壓縮強度는 粉末度가 커짐에 따라 材令 7일, 28일 강도개선이 특히 현저하다. (圖-25) 또 高爐슬래그微粉末을 40% 첨가한 모

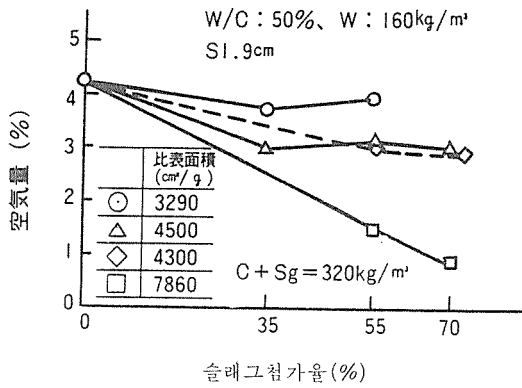


圖-24. 空氣量과 슬래그의 종류

르터 강도는 材令 3일, 7일인 경우 粉末度와 직접 관계가 있으며 材令 28일 강도는 比表面積 약 7,000cm²/g에서 최대치를 나타내고 그 이상에서는 강도가 저하하는 경향을 보인다. (圖-26) 따라서 強度發現은 高爐슬래그 微粉末에 따라 다르기 때문에 사용목적에 따라 선정할 필요가 있다.

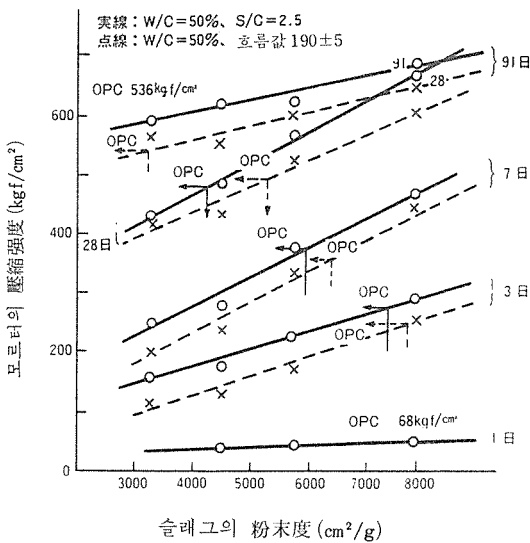


圖-25. 슬래그의 粉末度와 모르터 強度의 관계

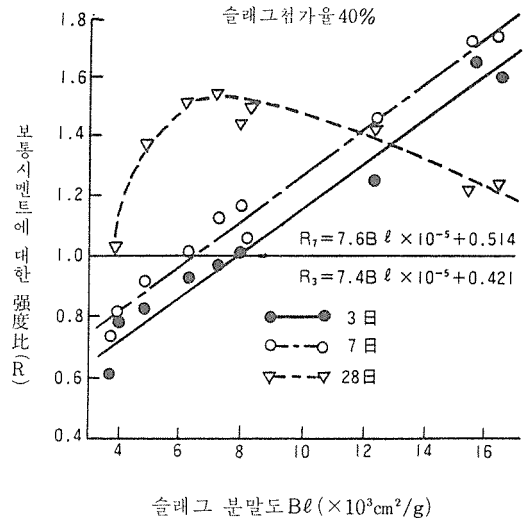


圖-26. 슬래그의 粉末度와 모르터의 壓縮強度化

(b) 添加率에 따른 壓縮強度

물시멘트비 50~60%의 材令 7日 強度는 高爐슬래그 첨가율 60% (7,570cm²/g)에서도 無添加한 경우의 강도와 거의 같지만 28일을 지나면 첨가율(20~60%)의 증가에 따라 강도가 증가된다. 또 강도의 증가율은 물시멘트비가 큰 경우에 더욱 현저하다. 한편, 比表面積이 4,060cm²/g 정도인 경우 壓縮強度는 물시멘트비 50~60%일 때 첨가율의 증가에 따라 저하한다. 다만 長期材令일수록 強度低下의 정도는 작게 된다. (圖-27-1) 또 물시멘트비가 30%인 경우를 보면 슬래그微粉末 콘크리트의 강도는 材令 28일 이후의 첨가율 40%가 최대치를 나타내며 첨가율 70%에서도 보통포틀랜드시멘트 콘크리트보다 크게 되어 슬래그微粉末의 有効性이 인정되었다. (圖-27-2) 이 경향은 모르터의 경우도 같다. (圖-28)

(c) 引張強度와 彈性係數는 보통콘크리트와 같이 취급할 수 있다.

(d) 乾燥收縮率

初期材令의 乾燥收縮率은 微粉末슬래그 일수록 크고 또 첨가율이 높을수록 크며 물시멘트

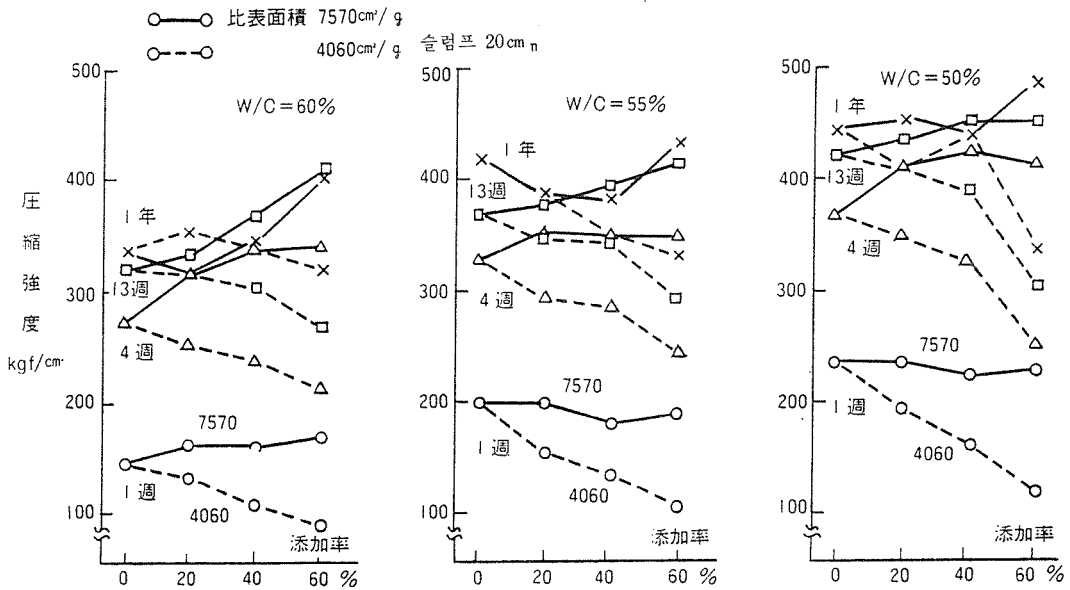


圖-27-1. 슬래그添加率과 콘크리트壓縮強度

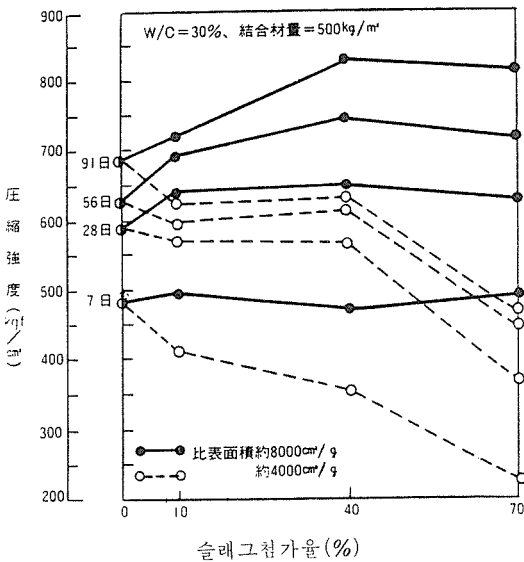


圖-27-2. 콘크리트의壓縮強度와 슬래그添加率의 관계

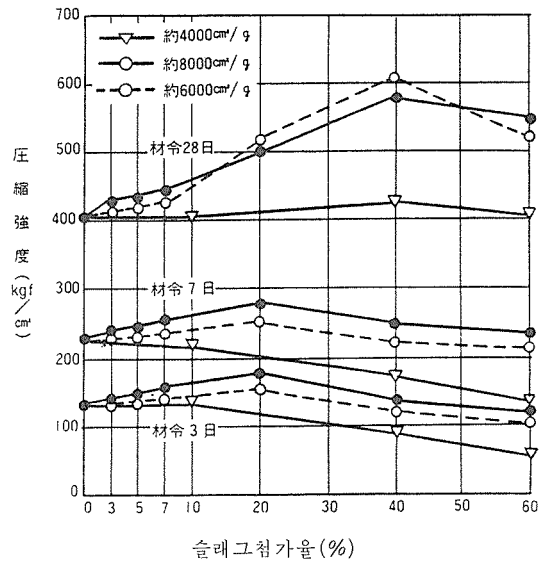


圖-28. 모르타르強度와 슬래그添加率의 관계

비 50%인 경우가 60%인 경우보다 크다. 다만
材令 1 년의 收縮率은 高爐슬래그의 粉末度, 添
加率에 關係 없이 普通콘크리트와 같다. (圖-29)

(e)凍結融解抵抗性
耐久性指數가 90% 이상으로 耐久性은 양호
하다.

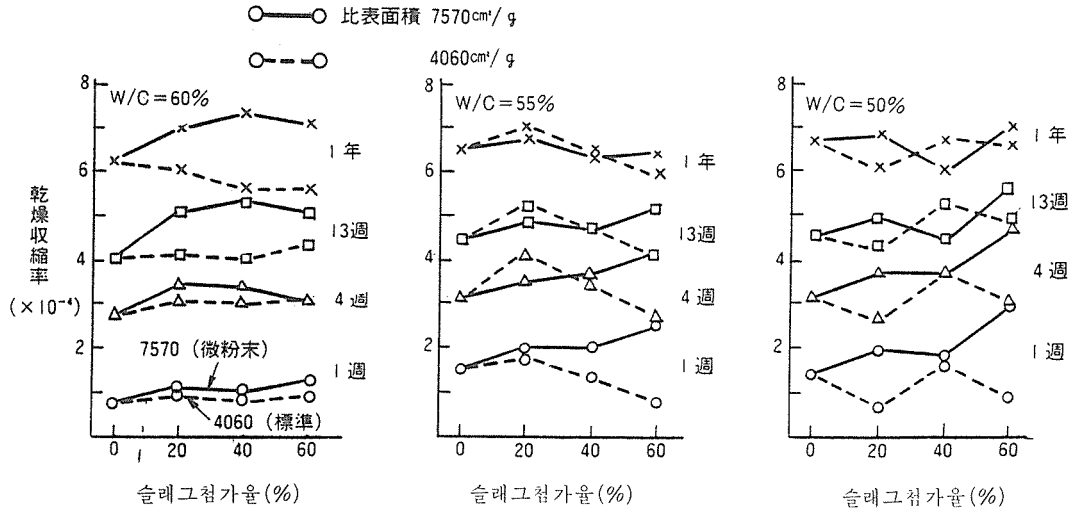


圖-29. 乾燥收縮率와 슬래그添加率의 관계

(f) 斷熱溫度上昇

水和熱은 高爐슬래그粉末의 종류에 관계없이 침가율이 증가하는데 따라서 저하한다. 低下比率은 初期材令일수록 크다. 한편 水和熱은 高爐슬래그의 粉末度가 클수록 증가하는 경향이 있으며 增加比率은 養生溫度가 높을수록, 初期材令일수록 크다. (圖-30, 31)

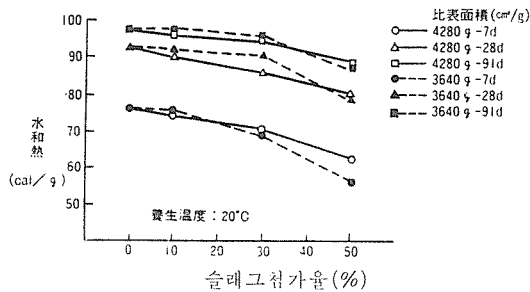


圖-30. 슬래그분말의 添加率과 水和熱의 관계

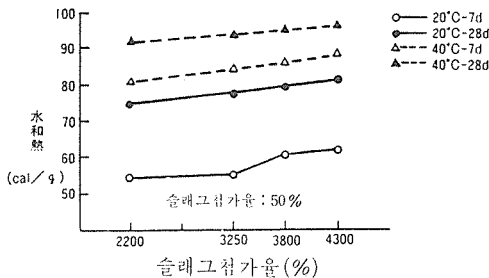


圖-31. 슬래그분말의 粉末度와 水和熱의 관계

또 斷熱溫度 上昇速度는 比表面積 8,000cm²/g 인 경우가 4,000cm²/g인 경우보다 빠르며 最終 上昇值도 크다. (圖-32) 이것을 매스 콘크리트에 사용하는 경우는 溫度龜裂對策을 세울 필요가 있다.

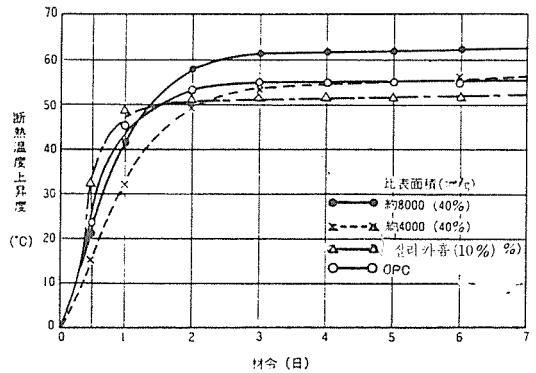


圖-32. 斷熱溫度上昇量과 材令의 관계

(g) 透水性

擴散係數는 고로슬래그 침가량의 증가와 함께 작게 되며, 耐透水性이 향상된다. (圖-33, 34) 透水性은 微粉末슬래그를 사용하면 水和硬化體의 組織이 치밀하게 되어 현저히 개선된다. 이 경향은 물시멘트비 30%에서도 같다.

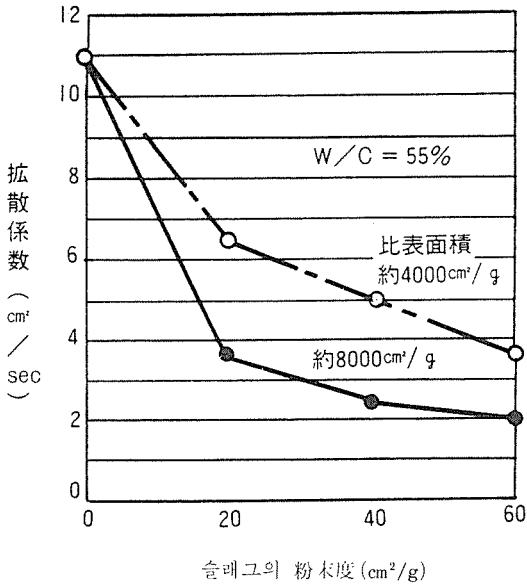


圖-33. 콘크리트의 擴散係數와 슬래그添加率의 관계

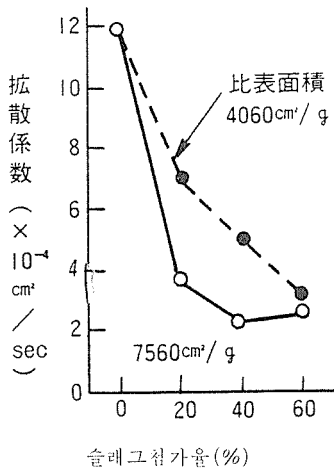


圖-34. 콘크리트의 擴散係數와 슬래그 添加率의 관계

(h) 中性化

中性化 깊이는 물시멘트비가 클수록 또 高爐 슬래그의 첨가율이 클수록 크다. 微粉末 슬래그 (8,000 cm²/g 정도)의 中性化는 4,000 cm²/g 정도

에 비해 매우 작으며 첨가율 20%에서 보통콘크리트와 같은 정도이다. (圖-35)

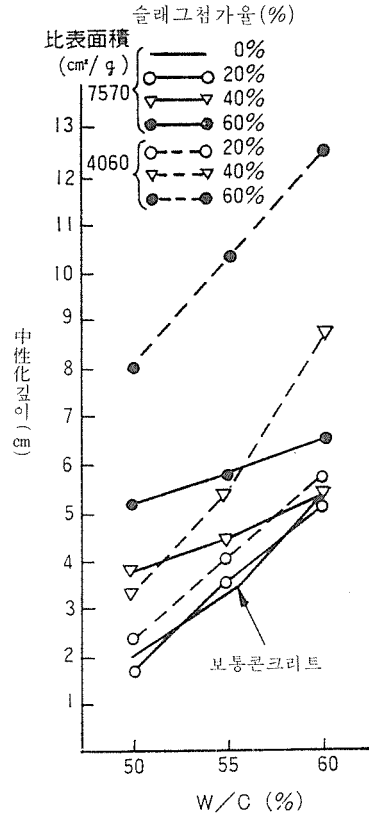


圖-35. 中性化깊이와 물시멘트비의 관계

(i) 塩素이온 浸透 깊이

塩素浸透 깊이는 高爐 슬래그의 첨가율이 증가함에 따라서 작게 된다. (圖-36) 耐塩素浸透性은 微粉末 슬래그일수록 水和硬化組織中の 遊離 Ca(OH)₂가 적고 組織이 치밀하게 되기 때문이다.

(j) 알카리骨材反應性

모르터의 膨脹率은 高爐 슬래그의 종류에 따라 다르나 첨가율이 증가하는데 따라 작아진다. (圖-37) 알카리骨材反應의 抑制效果는 微粉末 슬래그일수록 현저하다.

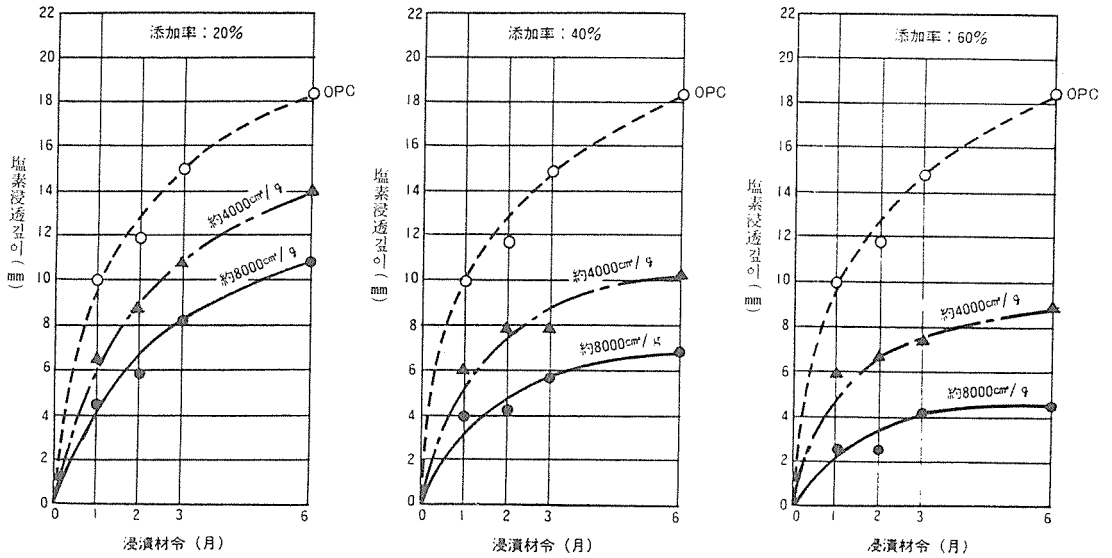


圖-36. 모르터의 염소이온 浸透깊이와 海水浸漬 材令의 관계

W/C=50%, 시멘트骨材 = 1 : 2.25, ASTM C 227, 玻璃質安山岩

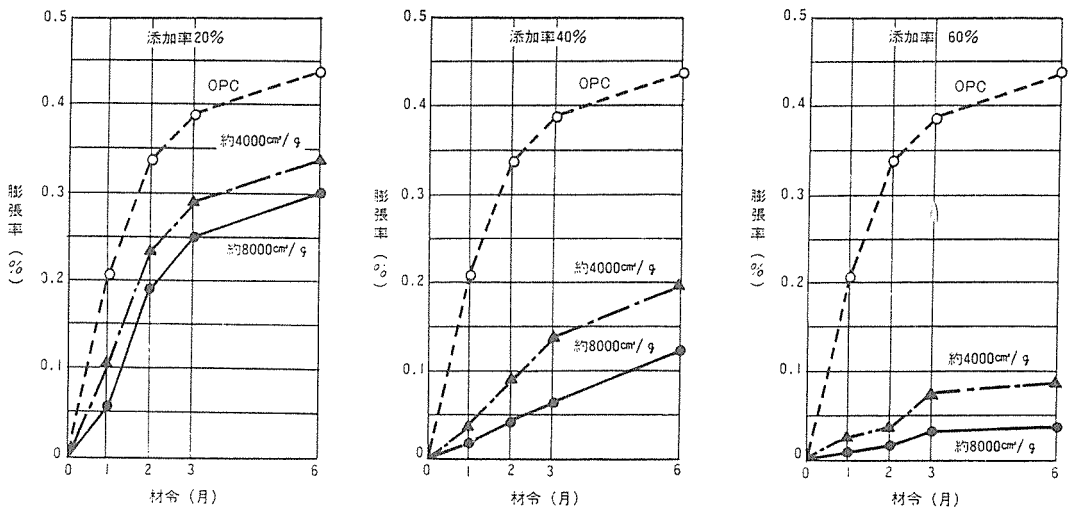


圖-37. 모르터의 膨脹率과 材令의 관계

5) 高爐슬래그微粉末 모르터·콘크리트의 장점 및 有効利用

(a) 장점

최근 콘크리트의 耐久性 向上, 品質 向上

또는 콘크리트의 省資源, 省에너지의 見지에서 高爐슬래그微粉末을 콘크리트에 使用하는 것이 重要시 되어 왔다. 또 高爐슬래그微粉末 콘크리트에 관한 연구는 급속히 進行되어 그 有効性

이 분명하다.

아래에 슬래그微粉末을 混和材로서 사용한 경우의 주요 장점을 나타낸다.

- a. 強度增加
 - b. 養生에 의한 早期의 高強度化(給熱養生등)
 - c. 凍結融解抵抗性的의 向上
 - d. 耐透水性의 向上(水密性 向上)
 - e. 塩素이온의 耐浸透性
 - f. 알카리骨材反應의 억제
- (b) 有効利用

모르터 및 콘크리트의 諸特性은 微粉末 슬래그를 混和材로서 사용한 경우 여러 면에서 우수하여 각 방면에서의 활용이 기대된다. 表-2 에 이용가능한 콘크리트 구조물을 기술한다.

4. 無機系 早强混和材(아람系 鑛物)

1) 概 要

이 混和材는 천연의 명반석(아람系 鑛物) 을 燒成한 것과 無水石膏의 혼합을 주성분으로 한

塩素를 함유하지 않는 無機質 混和材로서 시멘트 중에서 水和硬化를 촉진시키면서 에트링가이틀 생성하여 시멘트의 乾燥收縮을 完善하는 성질과 早期強度의 성질을 가지는 것이다. 이것을 사용한 콘크리트는 거푸집의 早期脫型이 가능하여 施工의 合理化에 유리하다고 한다.

2) 基本的 性質

성질은 진비중이 2.95(겉보기비중 0.6), 粉末度가 300메쉬이며 化學性分은 SO₃가 50%, CaO 33%, SiO₂ 7%로서 실리카흄과 高爐슬래그微粉末과 다른 것이다.

3) 콘크리트의 성질

굳지 않은 콘크리트 및 硬化한 콘크리트의 성질은 아래와 같다.

- a. 슬럼프 低下는 아루미系 鑛物의 첨가율이 증가하는데 따라 크며 온도, 습도의 차이에 따른 변동이 현저하다.
- b. 아루미系 鑛物은 블리딩을 低減 또는 억제

表-2 建築, 土木構造物에서 利用 가능한 構造物

利用 가능한 構造物	사 용 목 적
1. 地下構造物 콘크리트	• 高強度, 耐透水性(水密性 向上), 耐塩素浸透性, 철근의 腐食抵抗性
2. 메시브한 콘크리트 구조물	• 高強度化, 耐水性(水密性 向上)
3. 海洋·海岸콘크리트 구조물 및 船上콘크리트 구조물	• 耐塩素浸透性, 耐海水性, 耐摩耗性, 化學抵抗性 向上, 凍結融해抵抗性 向上, 알카리骨材反應 抑制, 철근의 腐食抵抗性
4. 化學工場, 溫度線의 콘크리트 구조물	耐塩素浸透性, 水密性 向上, 耐黃酸塩性, 化學抵抗性 向上, 철근의 腐食抵抗性
5. 高溫爐, 굴뚝 등의 耐熱콘크리트 구조물	化學抵抗性 向上, 耐黃酸塩性
6. 水中콘크리트 (프리팩트콘크리트도 포함)	耐塩素浸透性, 耐海水性, 알카리骨材反應의 억제, 철근의 腐食抵抗性, 耐摩耗性, 그라우트
7. 港灣施設 (테트라포드도 포함)	高強度化, 耐塩素浸透性, 耐透水性, 化學抵抗性 向上, 耐摩耗性
8. 埋立構造物	• 地盤安定處理, 헤드로處理, 原子力廢棄物處理
9. 시멘트콘크리트 二次製品 (氣泡콘크리트, ALC, GRC, FRC, 고속도로의 遮音판넬, 耐火벽돌, 魚礁)	• 熱刺激에 의한 早期高強度化 耐塩素浸透性, 耐透水性, 耐海水性

하는 작용을 한다.

c. 凝結時間은 슬래그 첨가율(2~8%)이 증가하는데 따라 無添加에 대하여 1.2~1.6 배로 된다. 아루미系 鑛物 콘크리트는 初期強度發現이 현저하며 또 長期的인 強度發現을 기대할 수 있다.

d. 彈性係數는 日本建築學會 RC 構造計算規準보다 20~30% 크게 된다. 壓縮強度의 증가에 따른 彈性係數의 증가비율은 아루미系 鑛物의 첨가율이 많을수록 작게 된다.

e. 길이변화는 슬래그 첨가율이 2~8%인 경우 無添加에 비해 材齡 4週~26週에서 6~15% 작으며 乾燥收縮 緩和로서 효과가 크다.

f. 凍結融解는 슬래그 첨가의 有無에 따른 차이가 인정되지 않으며 200 사이클의 動彈性係數가 97~98%로 양호하다.

g. 中性化 깊이는 슬래그 첨가 有無에 따른 有意한 차이가 없어서 거의 동등하다고 할 수 있다.

h. 單位크리프變形은 材齡 28일까지 슬래그 첨가의 有無에 의한 차이가 인정되지 않으나 材齡 91일 이후는 슬래그를 첨가한 쪽이 약 15% 작아진다. 크리프계수도 材齡 91일 이후는 슬래그를 첨가한 쪽이 15~20% 작아진다.

i. 기타의 성질 즉, 水密性, 塩素이온의 浸透性, 알카리骨材反應性 등의 성질은 앞으로 연구되어야 할 사항이다.

4) 아람系 鑛物 콘크리트의 장점 및 有効利用

(a) 장점

아래에 아람系 鑛物 콘크리트의 주된 장점을 나타낸다.

- a. 初期強度 또 長期間에 걸쳐 強度發現한다.
- b. 收縮緩和性을 가진다.
- c. 블리딩이 적어 빠른 시기에 흠손질이 가능하다.
- d. 크리프계수는 얼마간 작다.
- e. 鐵筋腐食의 염려가 없다.
- f. 骨材分離를 방지하며 펌프 壓送性 등 作業性이 양호하다.
- g. 早期에 거푸집 해체가 가능하다.
- h. 冬期の 養生時間을 단축할 수 있다.
- i. 溫度補正을 필요로 하는 시기에 있어서 溫度補正 정도의 低減과 그에 따른 長期性狀이 개선될 수 있다.

(b) 有効利用

다음은 콘크리트의 有効利用을 나타낸 것이다.

- a. 高強度콘크리트용 混和材
- b. 바닥 마무리 작업의 작업효율의 향상
- c. 거푸집의 早期脫型으로 施工을 合理化 한다. (早期 거푸집 脫形法의 이용)
- d. 거푸집 存置期間을 줄인다.

5. 맺는말

이상 최근의 混和材로서 3가지 예를들어 그 내용을 소개하였는데 이 외에도 MDF 시멘트(Densit)와 매스 콘크리트용 低熱高爐시멘트, 無機系 高強度混和材(도 1000)등 시멘트系 複合材料가 있다. 금후는 本報告의 混和材를 토목, 건축의 콘크리트 구조물에 크게 이용하여 구조물의 品質 向上과 耐久性 向上 및 施工의 合理化를 도모할 필요가 있다. 또 이들과 유사한 새로운 混和材料의 개발도 기대해 본다.*

崔在眞 譯(檀國大土木 工學科講師)