기술연구 I

# 사일로시스템에 의한 내화학성 단면복구 몰탈의 기계화 시공

김 정 환 (한일시멘트(주), 중앙연구소장)
주 동 철 (한일시멘트(주), 중앙연구소 건설재료1팀장)
김 경 덕 (한일시멘트(주), 중앙연구소 건설재료1팀)
김 재 성 (한일시멘트(주), 중앙연구소 건설재료1팀)

## 1. 서 언

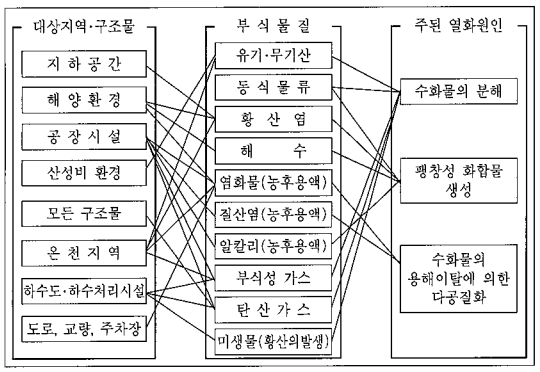
콘크리트 구조물은 특히 내구성에 대하여 우수한 구조재료로서 인정되어왔지만, 최근 들어 경과년수 십년을 넘기지 못하고 본래의 기능을 상실하게 되는 사례가 종종 보여지고 있다. 건축 및 토목재료로서 가장 널리 사용되어지고 있는 이러한 콘크리트구조물의 조기열화현상은 기타 구조재료와 마찬가지로 콘크리트 자체가 가지고 있는 결점으로 인하여 발생되는 것이다.

콘크리트가 가지고 있는 결점 중 하나는 콘크리트 자체가 화학적으로 불안정한 재료라는 것이다. 이 때문에 콘크리트구조물은 주변의 환경에 의해서 각종 다양한 화학물질에 의하여 침식에 의한 조기열화가 진행되고 그 건전성을 상실하게 된다.

콘크리트는 단순하게 말한다면 골재를 시멘트 혹은 결합재(시멘트+혼화재료)와 물과의 반응생성물로 결합된 것이다. 그러나 시멘트 혹은 결합재와 물과의 반응생성물은 유해성 화학물질과 반응하여 완전히 별도의 물질로 변한다. 이러한 반응에 의하여 시멘트수화물이 분해되어 결합능력을 상실하고 반응생성물의 용출에 의하여 콘크리트 조직이 거칠어지게 되고 반응에 따라서는 팽창을 일으켜 콘크리트 자체의 내력저하, 균열발생, 용해, 박락 등의 현상이 나타나게 된다.

콘크리트구조물의 화학적 침식은 표면으로부터 내부로 진행하지만 반응이 철근부분에까지 도달하게 되면 콘크리트 자체의 내력저하 등 콘크리트가 철근을 보호하는 능력을 상실하고 결국은 콘크리트 구조물로서 기능을 상실하게 된다. 이와 같은 반응은 진행중에 다른 콘크리트 열화인자와 복합적으로 작용하게 되어 열화속도를 더욱 가속화시키기 때문에 화학침식으로 인하여 열화된 철근콘크리트구조물에 대한 보수재료 및 공법의 개발이 국가 사회적으로 시급히 요구되어지고 있다. 또한 최근 건설생산현장에서는 건설기능노동자의 감소화와 고령화가 진행되고 있는 등 건설생산성이 저하하는 요인들이 증가되고 있어 건설생산성 관리의 측면에서 합리적이고 실용적인 방안이 시급히 요망되고 있는 실정이다.

따라서 본고에서는 화학침식으로 인하여 열화된 철근콘크리트구조물의 성능회복을 위한 내화학성 단면복구몰탈을 개발하고 품질관리 향상 및 합리적




〈그림-1〉 콘크리트구조물의 환경과 화학적 침식

이고 실용적인 보수시공을 위한 사일로 시스템에 의한 기계화 뿜칠 시공공법에 대하여 기술하고자 한다.

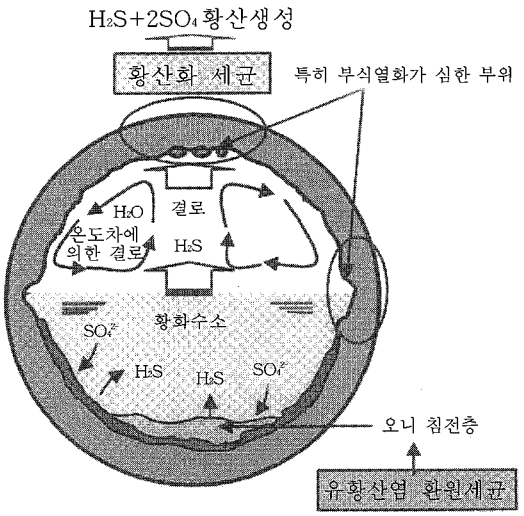
## 2. 콘크리트의 화학적 침식

콘크리트의 화학적 침식은 침식의 메카니즘에 따라 다음과 같이 크게 2가지로 나눌 수 있다.

① 콘크리트의 시멘트 수화물과 화학반응을 일으켜 본래 물에는 잘 녹지 않는 시멘트 수화물을 가용성 물질로 바꿈으로서 콘크리트를 열화, 붕괴시키는 것, 대다수의 산, 어떤 종류의 동식물유, 어떤 종류의 무기염류, 황화수소나 아황산가스 등 부식가스 등이 여기에 해당된다.

② 황산염으로 대표되는 것으로서 콘크리트 중의 시멘트수화물과 반응하여 새로운 화합물을 만들 때에 팽창을 동반하는 것이다. 이때의 팽창압에 의해 콘크리트를 열화시킨다.

콘크리트구조물의 환경과 화학적 부식인자 및 열화현상의 원인을 나타낸 〈그림-1〉에서 보는 바와 같이 콘크리트의 화학적 부식은 어떤 화학반응에 의해 콘크리트에 변화를 가져오는 것을 말하며 수화물의 분해를 가져오는 것으로서 유기·무기산, 동식물유, 부식성 가스, 탄산가스 및 황산의 생성을 동반한 미생물의 작용이 있다. 또한 팽창성 화합물을 생성하는 것으로서는 동식물유, 황산염, 해수 및 알카리농후용액이 있으며, 수화물의 용해 이탈에 의해




〈그림-2〉 하수시설물에서의 콘크리트구조물 화학적 침식

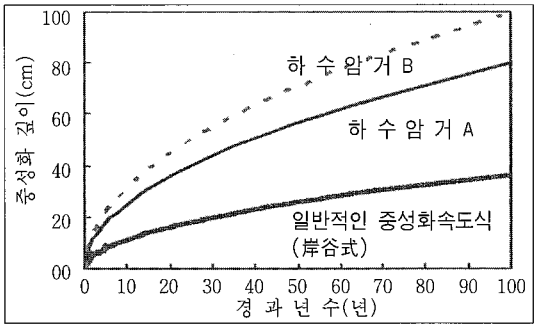
경화체가 다공질화하는 것으로서는 농후한 염화물 및 질산염 용액의 작용을 들 수 있다.

콘크리트구조물의 화학적 침식은 본래 화학공장이나 식품공장 등 공업시설, 해양환경, 황산염 토양지역과 온천지역 등 특수한 환경하에서 문제시 되며 일반적인 환경하에 있는 콘크리트에는 그다지 중요시 되지 않았다. 그러나 산성비 문제나 탄산가스에 의한 수화물의 분해, 하수처리 시설이나 하수도 등에서 〈그림-2〉에 나타낸 바와 같이 미생물의 작용에 의해 생성된 황산 등에 의한 콘크리트구조물의 열화가 발생하여 그 중요성이 증가하고 있다. 더욱이 이와 같은 콘크리트의 화학적 침식은 진행하는 동안에 또다른 열화인자와 복합작용하여 더욱 열화속도가 가속화되게 된다. 그 한 예로서 〈그림-3〉은 하수도시설물 실태조사에 의한 중성화속도를 나타낸 것이며 〈사진-1〉은 열화사례를 보여주고 있다.

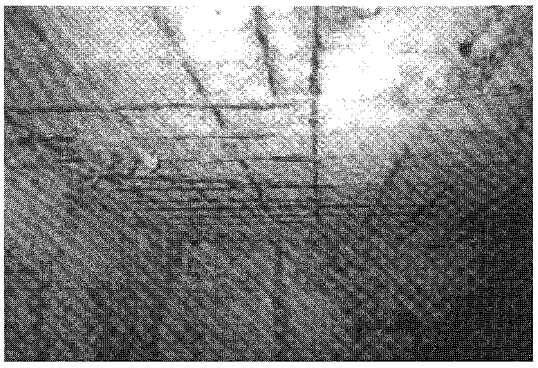
## 3. 내화학성 단면복구 몰탈 개발

### 가. 실험계획 및 방법

본 연구의 실험계획은 〈표-1〉에서 보는 바와 같




〈그림-3〉 하수암거 실태조사 중성화속도



〈사진-1〉 화학침식 환경하의 복합열화 사례

이 내화학성 단면복구 몰탈과 일반용 단면복구 몰탈을 W/B=36.2%, 모래:결합재=1.13:1의 배합조건으로 동일하게 제작한 후 압축강도(KS F 2477), 휨강도(KS F 2477), 부착강도(KS F 4716) 등의 강도특성을 각각의 KS 시험방법에 준하여 측정하였으며, 내화학성 실험은 50×50×50mm 시험체를 제

〈표-1〉 실험계획

| 구 분 | 내 용 |
|---|---|
| 실험요인 | • 내화학성 몰탈<br>• 일반용 몰탈 |
| W/B(%) | 36.2 |
| S : C | 1.13 : 1 |
| 측정항목 | • 강도특성<br>-압축강도, 휨강도, 부착강도<br>• 5% 황산침지 실험<br>• XRD, SEM, EPMA |

〈표-2〉 강도발현 특성

| 단면복구 몰탈 구분 | 압축강도(kgf/cm²) | | | | 휨강도 (kgf/cm²) | 부착강도 (kgf/cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1일 | 3일 | 7일 | 28일 | | |
| 일반용 | 42 | 379 | 463 | 556 | 99 | 28 |
| 내화학성 | 37 | 282 | 403 | 514 | 97 | 22 |
| 일본 기준* | – | 250 | – | 450 | 70 | 15 |

* 東京都下水道局施設管理部, コンクリート改修技術マニュアル -汚泥處理施設編-, 平成 12年 10月

작하여 28일 수중양생을 행한 후 5% 황산용액에 침지하고 침지재령별 중량변화율을 측정하였다. 또한 5% 황산용액 침지 재령 4주에 침식부 및 건전부의 시료를 채취하여 SEM 및 XRD 등의 화학분석을 통하여 시멘트 수화물 및 부식생성물을 관찰하였다.

## 나. 실험결과 및 고찰

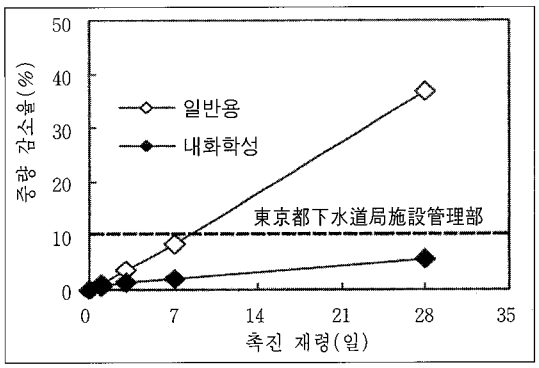
### (1) 강도발현 특성

일반용 및 내화학성 단면복구 몰탈의 강도특성을 〈표-2〉에 나타내었다. 내화학성 단면복구 몰탈의 경우 28일 압축강도 514kgf/cm², 휨강도 83kgf/cm², 부착강도 25kgf/cm²를 발현하고 있어 일반용 단면복구 몰탈와 비교하여 강도발현 특성이 상대적으로 작지만 일본 동경도 하수도 관리기준에는 만족하는 것으로 나타났다.

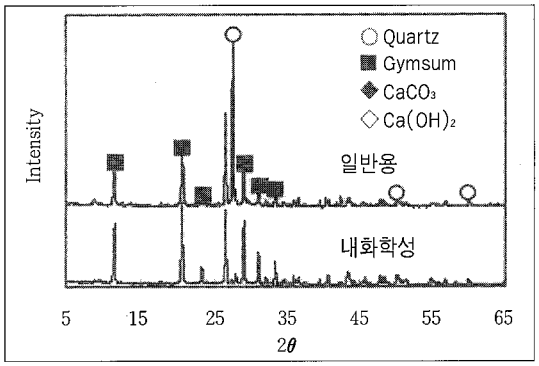
### (2) 내화학성

일반용 및 내화학성 단면복구 몰탈의 5% 황산용액 침지 재령별 중량감소율을 〈그림-4〉에 나타내었다. 내화학성 단면복구 몰탈의 경우 침지 재령 28일에서의 중량감소율은 5~6%로서 일반용 단면복구 몰탈과 비교하여 약 6배 이상의 중량감소율 저감효과가 있고, 일본 동경도 하수도 관리기준인 10%에 만족하는 것으로 나타났다.

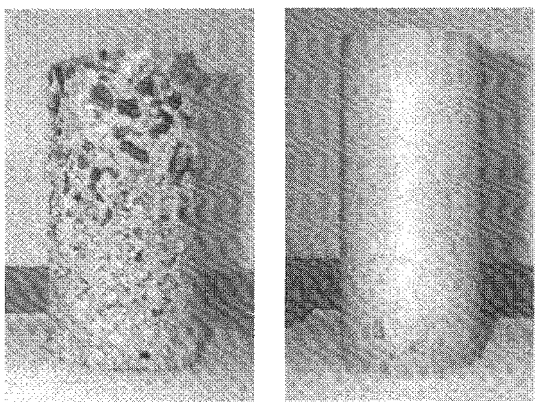
〈사진-2〉는 5% 황산용액 침지 재령 28일에서의 일반용 및 내화학성 단면복구 몰탈 시험체 외관을 나타낸 것으로 일반용의 경우 황산용액에 의한 화학




〈그림-4〉 5% 황산용액 침지 후 XRD 분석결과




〈그림-5〉 5% 황산용액 침지 후 XRD 분석결과



(a) 일반용 (b) 내화학성

〈사진-2〉 시험체 외관

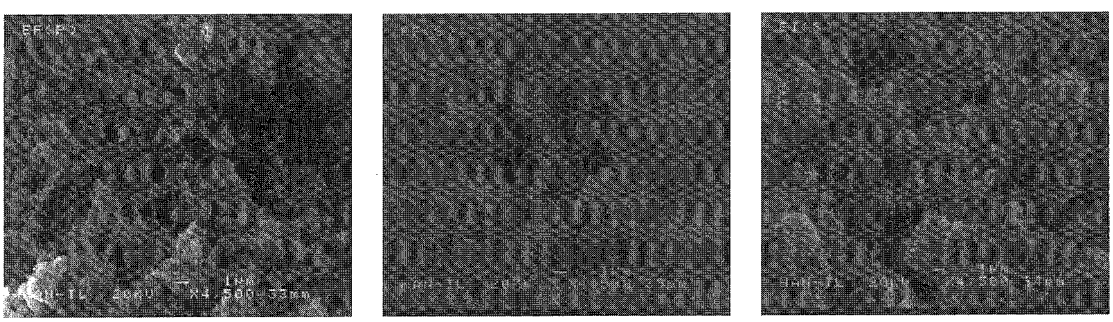
적 침식을 받아 몰탈 표면이 탈락되어 있는 것을 볼 수 있으나 내화학성 몰탈의 경우 미세한 표면손상을 받았을 뿐 양호한 외관상태를 보이고 있다.

(3) XRD 및 SEM 분석

〈그림-5〉는 5% 황산용액 침지 재령 28일에 일반용 및 내화학성 몰탈 표면에서 채취한 시료의 XRD 분석결과를 나타낸 것이다. 내황산성 및 일반용 몰탈의 표면에는 동일하게 황산에 의한 침식의 영향으로 이수석고가 생성됨을 알 수 있으며 이는 일반용 및 내황산성 몰탈의 침식부 및 건전부 SEM 측정결과를 나타낸 〈사진-3〉에서 육안으로 확인할 수 있었다.

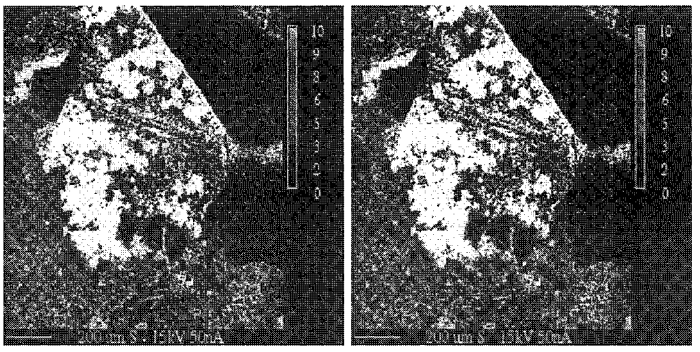
(4) EPMA 분석

〈사진-4〉는 단면복구 몰탈 시험체별 표면으로부터 30mm 부위에서 채취한 시료의 EPMA 분석결



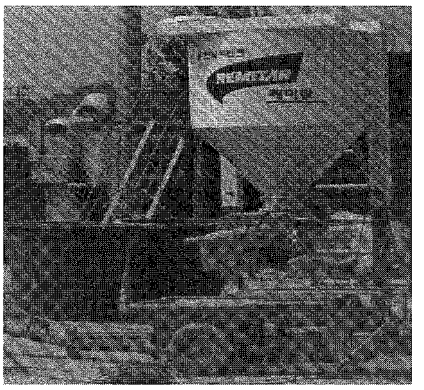
(a) 일반용(침식부) (b) 내화학성(침식부) (c) 내화학성(건전부)

〈사진-3〉 5% 황산용액 침지 후 시험체별 SEM 측정결과



(a) 일반용 (b) 내화학성

〈사진-4〉 시험체별 EPMA 분석결과



〈사진-5〉 사일로식 연속 믹싱시스템

과를 나타낸 것이다. 사진 〈사진-4(a)〉에 나타낸 일반용 단면복구 몰탈 시료의 S는 〈사진-4(b)〉에 나타낸 내화학성 단면복구 몰탈과 비교하여 S의 분포가 집중되고 있음을 알 수 있다.

따라서 내화학성 단면복구 몰탈의 경우 표면으로부터 30mm 부위에서는 황산에 의한 침식의 영향이 없는 것으로 판단된다.

## 4. 사일로식 연속 믹싱시스템

### 가. 사일로시스템의 개요

본 보수공법에 적용한 사일로식 연속 믹싱시스템은 크게 미니 사일로, 수평형 연속 믹싱장치, 스크류식 펌핑장치로 구성되어져 있는 단면복구 몰탈 뿜칠 기계장비로서 그 외관은 〈사진-5〉와 같다.

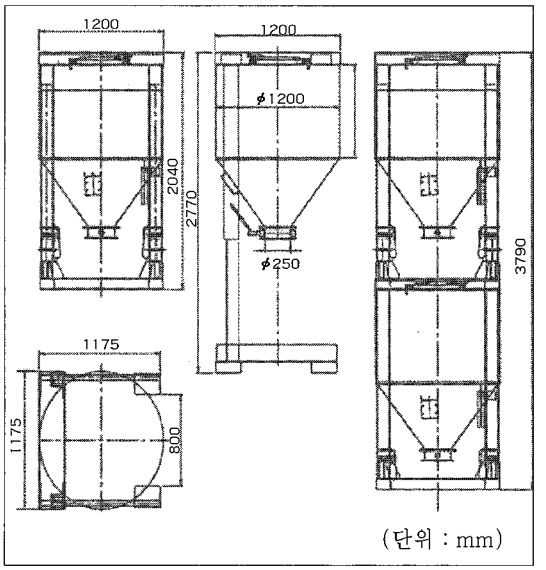
〈표-3〉 미니 사일로 사양

| 구 분 | | 사 양 |
|---|---|---|
| 방 식 | | 중 력 식 |
| 바 닥 면 적(mm) | | 1,200 × 1,200 |
| 설 치 높 이(mm) | | 2,770 |
| 수 송 높 이(mm) | | 2,020 |
| 사일로 | 가 로(mm) | 1,200 |
| | 세 로(mm) | 1,200 |
| | 높 이(mm) | 1,170 |
| 자 체 중 량(kg) | | 395 |
| 용 량(l) | | 1,280 |

### 나. 사일로시스템의 구성

#### (1) 미니 사일로

단면복구 몰탈 1,280ℓ를 연속적으로 시공할 수 있는 중력식 사일로로서 그 사양은 〈표-3〉에서 보는




〈그림-6〉 미니 사일로 형상

〈표-4〉 수평형 연속 믹싱장치 사양

| 구 분 | | 사 양 |
|---|---|---|
| 구 동 장 치 | | 3.0kW, 50Hz |
| 전 원 | | 3ph. 400V, 16A |
| 비 빔 속 도(rpm) | | 280 |
| 비 빔 용 량(l/min) | | 25～50 |
| 수 압(l/h) | | 1,000 |
| 치수(mm) | 길 이 | 1,200 |
| | 폭 | 700 |
| | 높 이 | 320 |
| 자 체 충 량(kg) | | 108 |

〈표-5〉 스크류식 펌핑장치 사양

| 구 분 | | 사 양 |
|---|---|---|
| 구 동 장 치 | | 3.0kW, 50Hz |
| 전 원 | | 3ph. 400V, 16A |
| 뿜 칠 속 도(U/min) | | 60 |
| 뿜 칠 용 량(l/min) | | 17 |
| 뿜 칠 거 리(m) | | 50 이상 |
| 치수(mm) | 길 이 | 1,560 |
| | 폭 | 570 |
| | 높 이 | 590 |
| 자 체 충 량(kg) | | 107 |

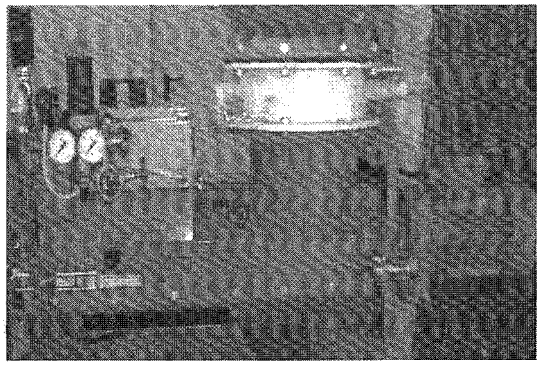
바와 같으며, 형상을 〈그림-6〉에 나타내었다.

### (2) 수평형 연속 믹싱장치

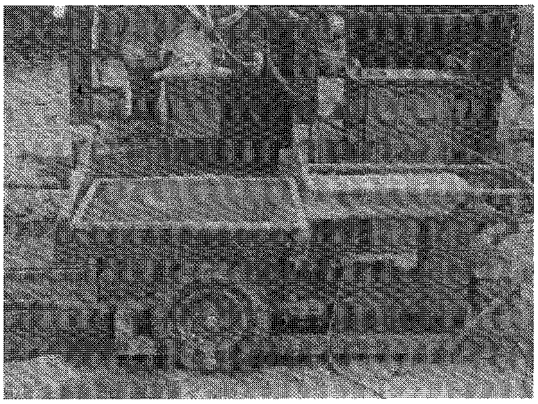
수평형 연속 믹싱장치는 건조 단면복구 몰탈과 비빔수량을 완전 자동화된 방식으로 관리하면서 혼합·배출되기 때문에 현장 품질관리를 향상시킬 수 있으며, 현장을 깨끗하게 유지할 수 있는 단면복구 몰탈 믹서로서 그 사양은 〈표-4〉에서 보는 바와 같다. 또한 형상을 〈사진-6〉에 나타내었다.

### (3) 스크류식 펌핑장치

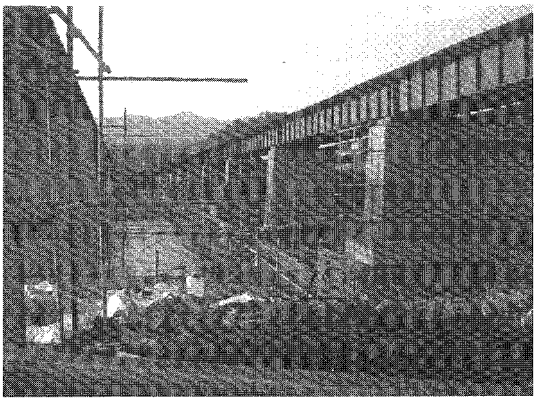
스크류식 펌핑장치는 뿜칠속도가 60U/min, 뿜칠거리가 수평으로 50m 이상, 수직으로 30m 이상의 고효율 펌핑장비로서 그 사양을 〈표-5〉에 나타내었다. 또한 형상을 〈사진-7〉에 나타내었다.



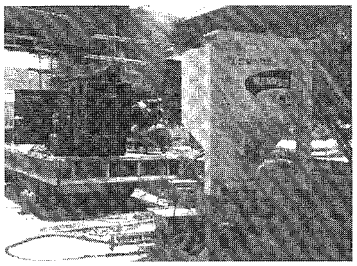
〈사진-6〉 수평형 연속 믹싱장치

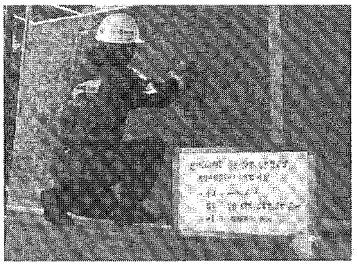


〈사진-7〉 스크류식 펌핑장치

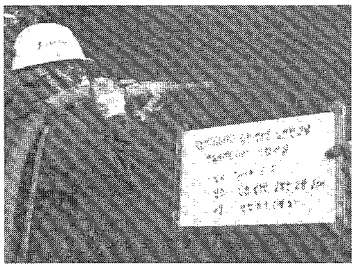


〈사진-8〉 대상구조물 전경

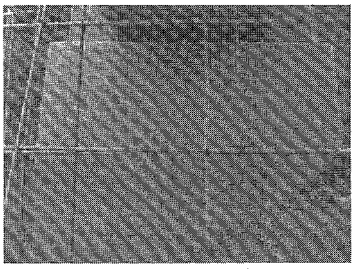

(a) 장비 설치


(b) 바탕처리

(c) 프라이머 도포


(d) 뿜칠시공

(e) 표면마감


(f) 공사완료 후

〈사진-9〉 현장 시공

## 5. 현장시공 사례

### 가. 대상구조물 개요

본 보수공법에 적용한 현장은 철도교량으로서 경과년수 50년 이상의 노후화된 구조물로서 열화된 부위를 제거한 후, 표면보수를 실시하였으며, 대상구조물 전경을 〈사진-8〉에 나타내었다.

### 나. 현장 시공

사일로 시스템에 의한 내화학성 단면복구 몰탈의 뿜칠 현장 시공사례를 〈사진-9〉에 나타내었다.

대상구조물의 열화된 부위를 제거한 후 아크릴계 프라이머를 스프레이건으로 도포하였다.

또한 내화학성 단면복구 몰탈을 사일로식 연속 믹싱시스템에 의하여 혼합한 후 시공두께 20mm로서 뿜칠시공하였으며 손미장으로 마감하였다.

## 6. 맺 음 말

콘크리트의 화학적 침식이 기존에는 특수한 환경하에 있는 구조물에서만 문제시 되었지만 최근 들어 대기오염에 따른 산성비 및 수질오염에 따른 산성하천 유역과 해수 등에 접하게 되는 일반구조물에서도 콘크리트 열화가 발생하여 그 중요성이 증대되고 있다. 이에 일반용 단면복구 몰탈과 비교하여 일반적인 물리적 특성은 유사하게 나타내면서 내화학성이 현저히 개선된 내화학성 단면복구 몰탈은 화학침식을 억제하고 보수보위의 장기적 건전성을 확보하는데 적합한 재료로서 향후 그 필요성이 증대될 것으로 사료된다.

또한 최근 건설생산현장에서는 건설기능노동자의 감소화와 고령화가 진행되고 있는 등 건설생산성이 저하됨에 따라 보수공사 현장에 있어서도 사일로식 연속 믹싱시스템에 의한 단면복구 몰탈 뿜칠 장비의 보급이 적극 기대된다.