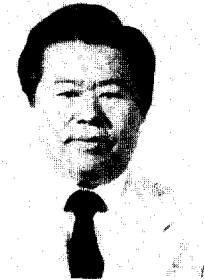


리비아 대수로 공사의 P.C.C.관 제작에 대하여

On Prestressed Concrete Cylinder Pipe Manufacturing of Great Man-made River Project in Libya



박 성 수*

1. 머릿말

이 공사는 리비아 내륙지방 지하에 매장되어 있는 물을 내경 4m의 P.C.C관을 1850km 거리의 뱅가지 및 쉴트지역까지 매설하여 자연 유하방식으로 송수하는 송수관로 공사이다. 이 사업은 리비아 유일의 수입원인 석유 산업 이후의 대체산업으로 농업을 위시한 각종 산업을 발전시키는데 필수적인 용수문제를 해결하기 위하여 계획된 공사로 입찰후 2년여의 협의 과정을 통하여 당사가 수주하게 되었다.

이 공사는 전체 공사가 5단계로 나누어 지는데 제1단계 공사는 1984년 1월 16일 착공되어 약 7년간의 공사를 수행하여 지난 8월 28일 역사적인 통수식을 마쳤으며 제2단계 공사가 현재 진행중에 있다. 이 공사는 P.C.C 관을 제작하기 위한 생산공장 2개소의 건설과 P.C.C 관의 주자재인 골재생산시설, P.C.C관 생산 250,000분, 이의 운반, 매설 및 부대공사로 조사, 설계, 공사, 유지보수 등이 포함되는 Turn-key base 공사이다. P.C.C관은 내경이 4.0m 길이가 7.5m의 초대구경관으로서 1개의 중량이 75톤 내외이며 콘크리트 체적으로 25m³이 된다.

본 고에서는 공사의 핵심이되는 P.C.C관의 제작공정과 특히 사막 지역에서는 콘크리트의 내구성이 중요하므로 내구성등에 관하여 기술하고자 한다.

2. 공사개요

1단계 공사는 리비아 동남부 사리르 및 타저보 지역의 취수장에서 아즈다비아 저수지를 통하여 뱅가지 및 쉴트지역에 1일 200만톤의 송수능력을 갖는 관로 및 1부대공사로서 주요 공사개요는 다음과 같다.

- 공사명 : Great Man Made River Project
- 공사기간: 착공 1984년 1월 16일

기간	107개월
----	-------
- 공사금액: 미화 36억불(한화 2조7천억원)
- 공사내역: 연장 1,895km

관생산	250,000분
저수조	4백만톤 1기
취수시설	우물234개소
발전시설	6기
유지보수	1년간
관생산공장건설	2개소

*동아건설산업주식회사 부사장

말재생산시설 2개소
관생산용수공사 2개소

3. 관로 설계의 기본개념

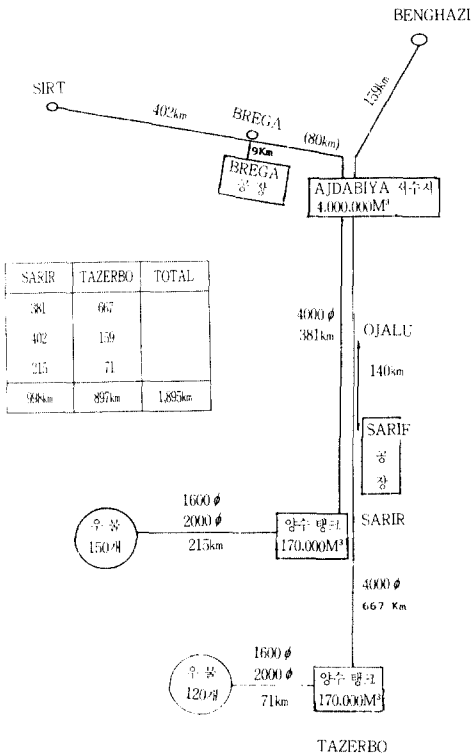
관로 Line 당 1일 1,000,000톤의 물을 자연유하식으로 송수할 수 있도록 설계되었으며 다음과 같이 3단계로 구분하여 설명하기로 한다.

(1) 집수정에서 물탱크까지

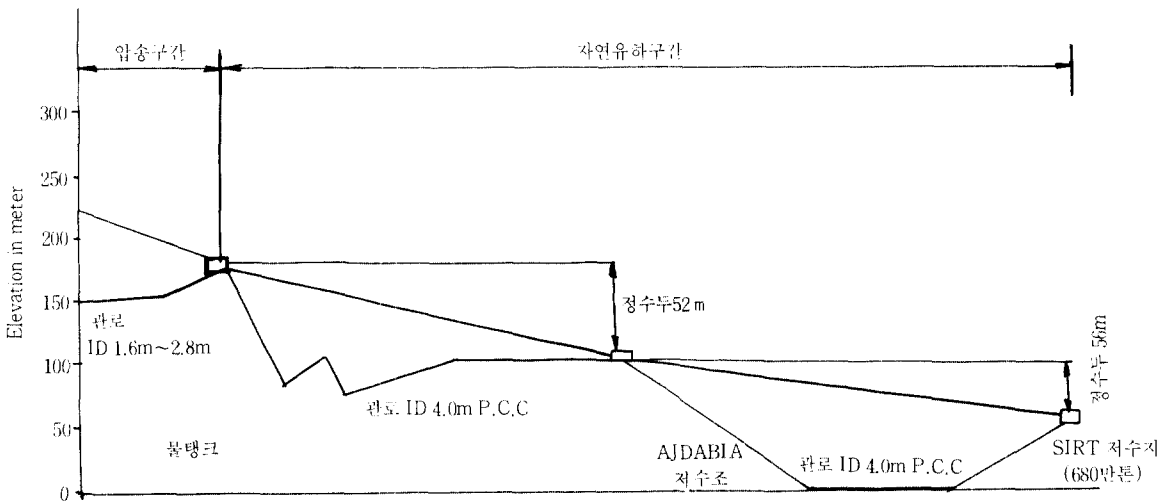
SARIR지역 집수정에서는 우물 150개소에서 Pumping된 물을 3개의 collector line을 통하여 높이 160m 용량 17만톤의 물탱크 2기에 끌어 올리며 TAZERBO 지역 집수정에서는 우물 120개소에서 Pumping된 물을 Collector line을 통하여 높이 283m 용량 17만톤의 물탱크로 끌어 올린다.

(2) 물 탱크에서 AJDABIA 저수지 까지

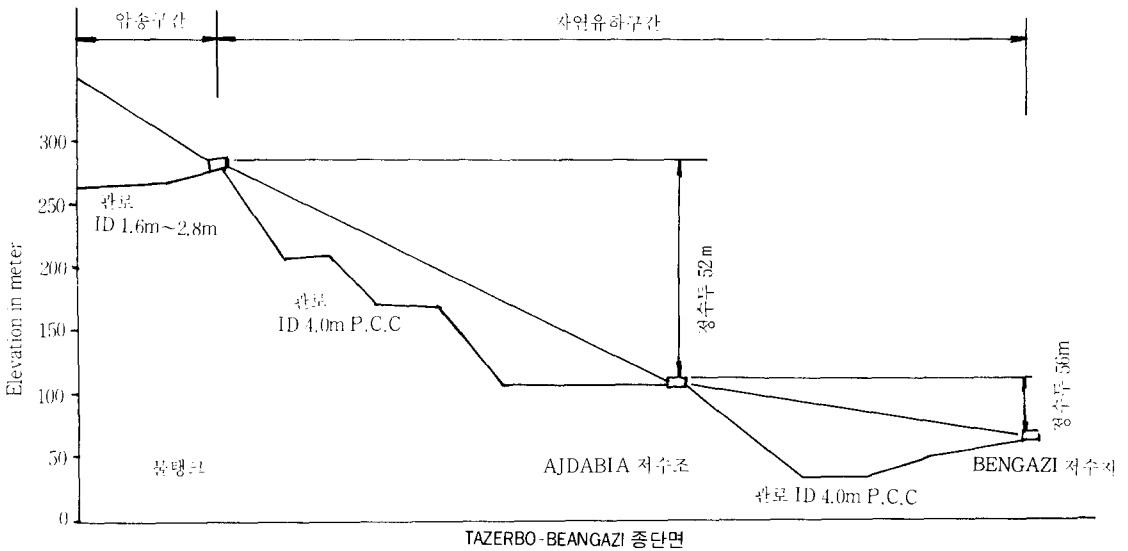
SARIR지역 물탱크에 저장된 물은 내경 4m P.C.C관을 통하여 1일 100만톤씩 자연유하 방식에 의하여 최대 수두 108m 저수용량 400만톤의 AJDABIA 저수지로 송수되며 TAZERBO 지역 물탱크의 물도 내경 4.0m의 별도의 관로를 통하여 같은 AJDABIA 저수지로 송수되어 저장된다. 이 관로 중간지점에는 향후 용수 수요량의 증가에 대비하여 Booster Pump를 설치할 수 있도록 하였고 P.C.C관의 설계수압도 최대 184만톤/일의



공사 개요도



SARIR-SIRT 종단면



송수능력을 갖도록 설계하였다.

(3) AJDABIA 저수지에서 종말저수지까지

AJDABIA 저수지에 저장된 물은 다시 2개 Line으로 갈라져 1개 line은 sirt 종말저수지까지 내경 4.0m의 P.C.C관을 통하여 1일 82만톤의 물을 자연유하방식에 의하여 최대수두 52.0m 저수용량 680만톤의 종말 저수지까지 송수하며 또다른 1개 Line은 Bengaghi 종말저수지까지 내경 4.0m의 P.C.C관을 통하여 1일 118만톤의 물을 자연유하방식에 의하여 최대수두 66.0m 저수용량 470만톤의 저수지로 송수된다. 이관로 등의 중간지점에 도 역시 향후 수요량 증가에 대비 중간지점에 Booster Pump를 설치할 수 있도록 하였고 P.C.C관의 설계 수압도 1일 최대 250만톤의 물을 송수가능하도록 하였다.

4. P.C.C관 생산

(1) 설계기준

P.C.C관은 AWWA C301-79 Prestressed Concrete Cylinder Pipe for Water and Other Liquid와 AWWA M9-79 Concrete Pressure Pipe Manual을 적용 Code로 하여 50년을 내구년한으로 설계하였다. 특히 관로가 염분이 많은 해안지역을 통과하게 되므로 모든관

은 Cathodic protection을 적용할 수 있도록 하였고 관의부식을防止하기 위하여 P.C.C관 표면에 코팅을 할 수 있도록 하였다.

(2) P.C.C관은 그림과 같이 강관으로 된 씨리나와 콘크리트코아, P.C강선 및 볼탈코팅부로 구성된다. 우선 관리 기준을 정하기 위하여 골재 및 시멘트의 품질조사와 전구간의 지질조사를 통하여 콘크리트에 유해한 chloride, sulfate 함량분석과 지하수위 및 지하수의 성분 등을 조사하여 다음과 같이 콘크리트의 重要管理 항목과 관리기준을 정하였다.

콘크리트에 영향을 미칠 수 있는 重要관리사항

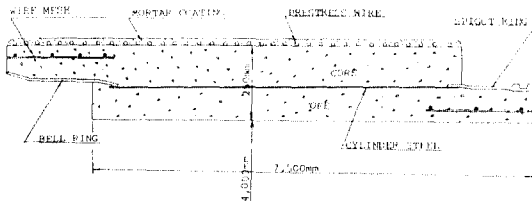
가. 관로 및 콘크리트 재료중의 sulfacte(SO₄) 및 chloride(Cl)에 의한 부식

나. 시멘트 중의 알칼리 성분과 골재중의 silica 재료와의 Alkali 반응에 의한 균열

다. 대기중 또는 지중의 CO₂와 H₂O의 化合으로 콘크리트의 중성화 진행.

라. 관매설후 地中の 전위차에 의한 P.C 강선의 부식 등으로 다음과 같이 재료의 기본관리 기준을 설정하였다.

구분	기준 또는 허용범위
시멘트중의 C ₃ A성분	5~8%



• AWWA C-301 기준
VERTICAL 공법으로 제조

시멘트중의 Alkali 함량 Na_2O 기준으로 1.15% 이내
 전체콘크리트중의 Cl 함량 시멘트중량의 0.06% 이내
 " SO_4 함량 " 4.0% 이내
 콘크리트의 28일압축강도 5000psi 이상

5. P.C.C관의 제작공정

P.C.C관은 구조상 두가지로 분류되는데 steel cylinder를 기준으로 내면만 콘크리트로 lining하는 공법과

내·외면을 콘크리트로 에워싸는 공법이 있는데 소형관은 주로 진자에 해당되며 원심력을 이용한 수평식 제작 방법이고 대형관은 후자로서 mold를 수직으로 세워놓고 콘크리트를 타설하는 방법으로 리비아에서 사용한 공법은 대형관으로서 수직공법이이었으므로 이방법에 대하여 설명하기로 한다.

먼저 강관으로된 steel cylinder를 제작 1.6kg/cm²의 수압을 가하여 용접부위의 누수여부를 확인한 다음 내주 mold와 외주 mold중간에 Socket 부분이 밑으로 향하도록 수직으로 세운후 mold의 연결부 Bolt를 체결한다. 콘크리트는 Bucket를 이용 상부로부터 분당 2.0m³의 속도를 유지시키면서 Form Vibrater를 이용 충분히 다짐을 주면서 투입한다. 콘크리트 타설이 완료되면 Canvas로 덮고 1차로 콘크리트강도가 120kg/cm²가 되도록 증기 양생을 한 후 mold를 해체하여 다음 양생실로 운반 조립을 하고 콘크리트는 그 자리에서 P.C 강선을 감을 수 있는 210kg/cm²가 될 때까지 2차 양생을 한다. 2차양생이 완료되면 P.C강선을 감기위하여 권선기로 로코모 크레인을 이용 이동장치 P.C강선을 인장하면서 권선한 후 코팅기로 이동 표면에 몰탈코팅을 하고 코팅이 완료되면 코팅 양생실로 이동 10시간동안 증기양생을 하므로써 제품이 완료된다.

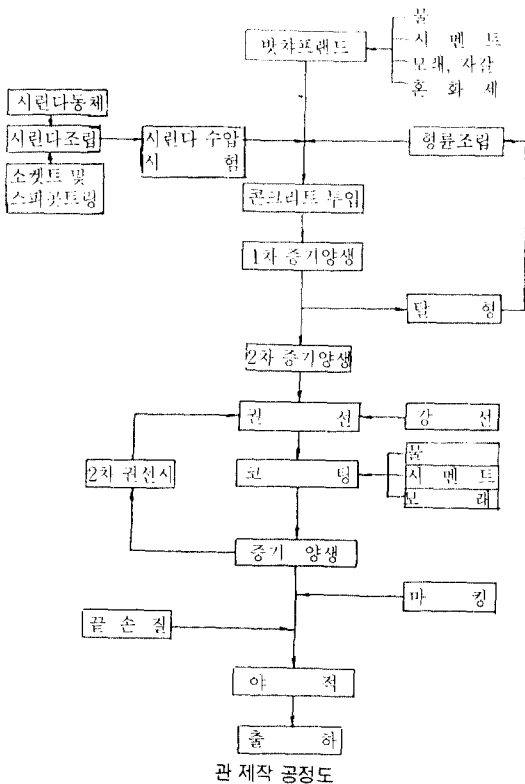
P.C.C관의 생산능력은 양개공장을 합하여 1일 220분으로 25분마다 그 거대한 P.C.C관이 1본씩 제작될 수 있는 시설로 1일 처리하여야 할 콘크리트 물량이 대략 5,000m³~6,000m³이다.

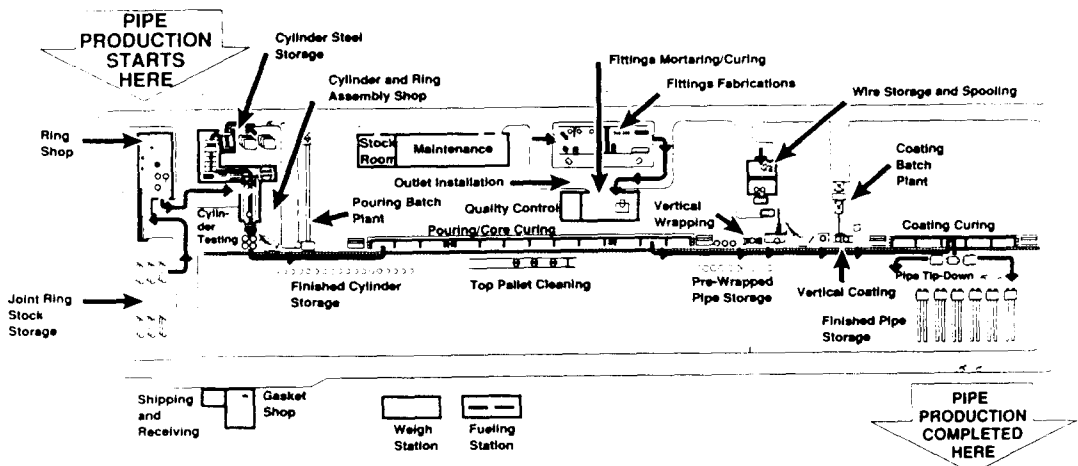
계약상으로는 초기 3개월간은 생산능력의 70%, 그후 3개월 간은 90%, 6개월후부터는 생산능력의 100% 수준까지 올라 가야 penalty를 물지 않도록 공정히 짜여졌다. 그러나 실제로 초기 생산단계에서는 1차로 8분을 시험생산하였으나 좀체로 수량이 늘지 않을 뿐만아니라 양생과정에서 예측하지 못했던 콘크리트에 균열에 발생하여 이들 문제점 해결에 많은 시간을 소비하였다.

제작중에 발생하였던 주요 결함은 다음과 같다.

가. mold 탈형시 콘크리트길이 방향의 Crack 발생
 나. 진동 불충분에 의한 표면 Air Pocket 발생

다. 콘크리트 혼합 및 입도의 不適格으로 인한 Sand Streak 발생





공장 Lay-out

라. P.C 강선 권선시에 발생하는 원주방향 Crack 등이다.

상기한 네가지 결함중 나향과 라향은 시방서에 허용한도가 규정되어 있으나, 가향과 나향은 전혀 인정되지 않은 결함으로 인정이 되지 않았으므로 여기서 그 발생위인과 대책에 대하여 소개하기로 한다.

탈형시 종방향 Crack

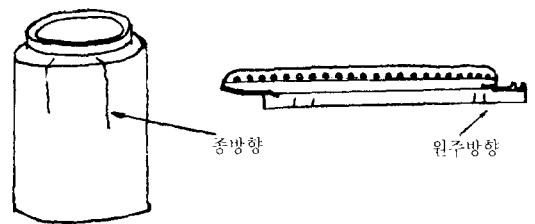
이 Crack은 1차 양생을 완료하고 mold를 제거하기 위하여 Bolt를 푸는 순간 관의 길이 방향으로 폭 5mm 이상의 crack이 발생하는 것으로 그 위인은 콘크리트 양생과정에서 높은 수和熱이 발생하여 양생실의 Steam을 중단하면 양생실내 온도는 내려가나 콘크리트의 온도는 이르기까지 下降을 하지 않는다. 특히 동절기에는 양생실의 증기압을 중단하고 Canvas를 開放하면 실내온도가 급격히 대기온도와 가깝게 하강하므로 콘크리트와 실내온도 사이에 온도차가 벌어지게 된다. 콘크리트는 온도가 하강하면 수축하게 되므로 mold의 Bolt를 푸는 순간외기와 접촉되면서 Crack이 발생한다. 대책을 세우기 위하여 다음과 같은 시점을 통하여 Crack의 발생할 수 있는 온도차이를 확인하였다.

시험방법

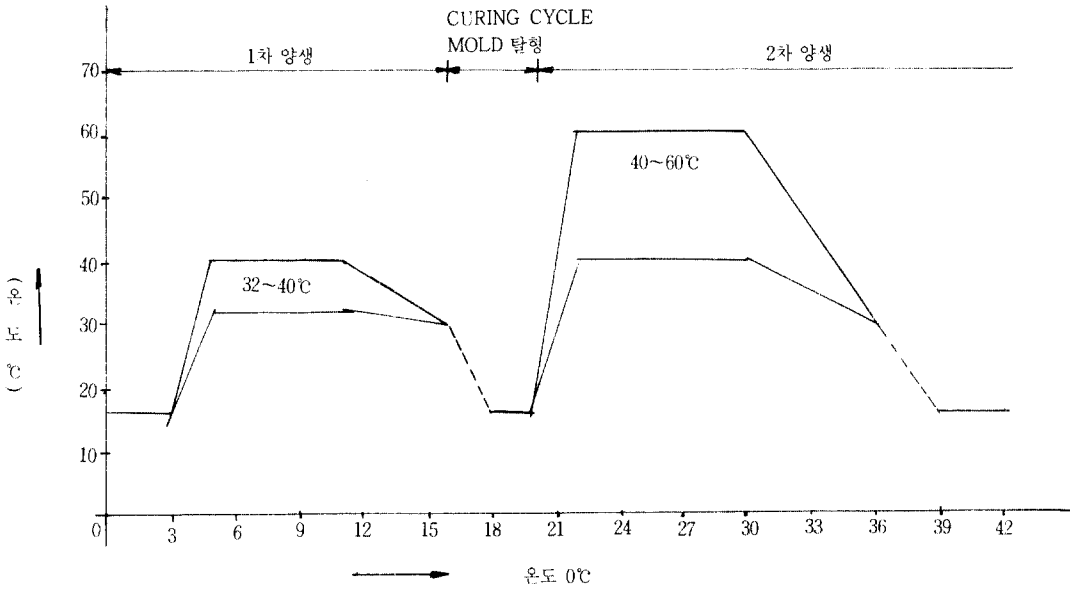
다음 그림과 같이 콘크리트 타설시 cylinder 내·외각 1개씩 양생실용 도합 3개의 Thermo Couple을 매설하고 양생시작부터 양생완료시까지 매시간 콘크리트 자체의 온도변화와 양생실내의 온도 변화를 graph로 그려 Crack이 發生되는 온도차이를 조사하였다. 몇번의 시험을 통하여 콘크리트 자체의 온도는 Steam을 中斷 하더라도 온도저하가 서서히 일어나는 반면 실내의 온도는 canvas를 여는 순간 온도가 급격히 저하하였으며 대략 온도차이가 15℃ 이상되면 Crack이 發生한다는 것을 확인하였다.

대책

다음과 같은 세가지 方法을 강구하여 검토하기로 하



Crack 발생 종류



3시간 Preset	2시간 온도 상승	6시간 스텝양생	5시간 온도하강	4시간 몰드탈형	2시간 온도 상승	8시간 스텝양생	6시간 온도하강	코이동
---------------	-----------------	-------------	-------------	-------------	-----------------	-------------	-------------	-----

제품양생 Graph

- 였다.
- 콘크리트 자체의 온도와 실내온도차이가 15°C 될때 까지대기
 - 콘크리트 자체의 온도를 냉각수로 강제 냉각시키는 방법
 - 양생실내의 온도를 15°C이내로 유지하기 위하여 Canvas를 close한 상태로 유지
- 주로 균열이 발생하는 시기와 시간대는 주간보다는 야간, 하절기 보다는 동절기에 발생빈도가 많았기 때문에 생산효율과 시설비면에서 문제점이 적은 세번째 방법을 택하기로 결정 시행하였다.
- 중간 중간에 발생하는 결함이다. 발생원인을 다음 세가지로 분류할 수 있다.
 - 골재의 입도가 맞지 않거나, 세골재율이 부적당할 때 공극현상에 의한 경우.
 - 믹서의 교반장치에 이상이 생겨 콘크리트가 充分히 혼합되지 않은 경우.
 - 콘크리트를 타설시 투입량이 과다하거나, 진동이 充分치 않아 다짐이 잘 되지 않았을 때.
- 위에 세가지 원인 모두가 콘크리트내에 공극을 발생시킬 수 있는 요인으로 물은 위로 올라가고 골재는 가라 앉는 경우에 해당한다.

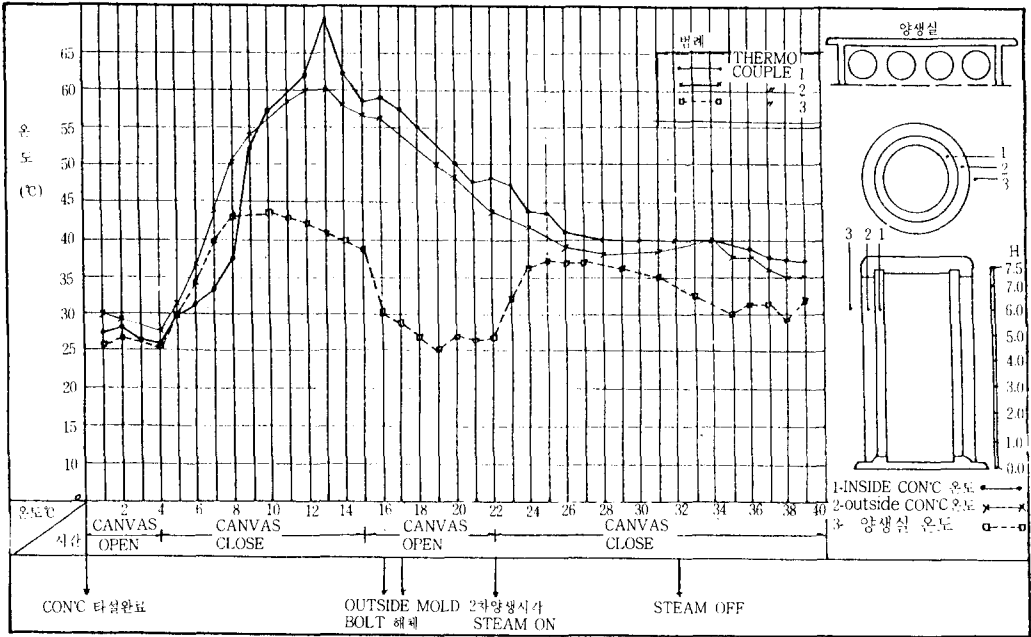
Sand Streak

이 현상은 콘크리트를 타설한 후 시간이 경과되면서 골재는 중량에 의하여 침하하여 콘크리트 속의 수화작용이 양된 잉여수가 Bleeding 현상에 의해 상승하면서 시멘트 입자를 동반하여 콘크리트 표면에 모래 줄기가

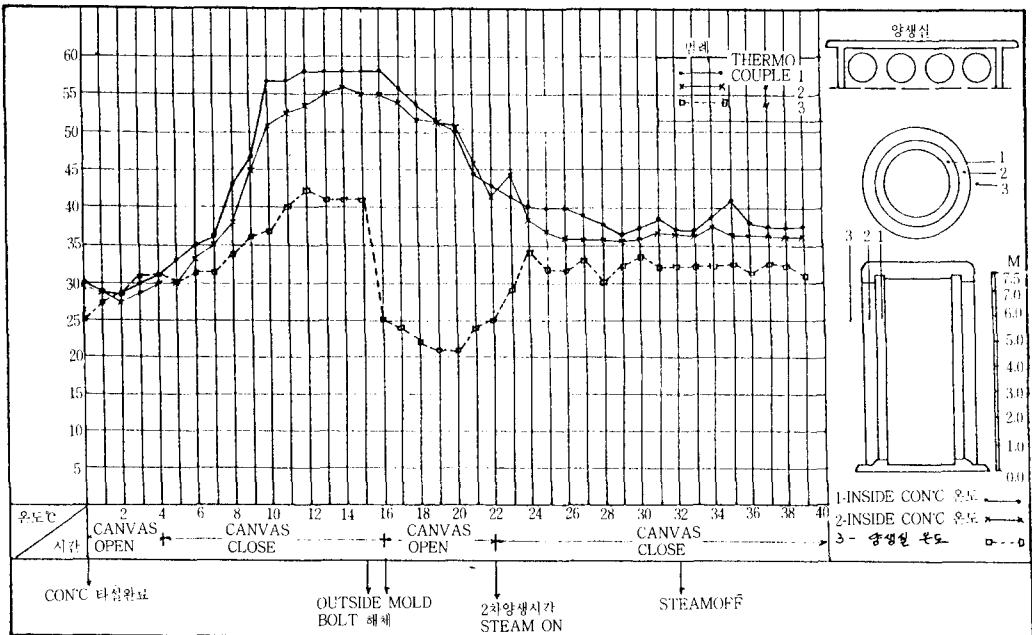
대책

- 골재의 입도를 조정하여 Gap Grading이 발생하지 않도록 한다.
- 특히 Superplasticizer를 사용하는 경우에는 0.3mm 이하의 세립분을 450kg/m³ 이상 함유시킨다.

THERMO COUPLE TEST FOR CORE (STEAM CURING)



THERMO COUPLE TEST FOR CORE(STEAM CURING)



Thermo Couple을 이용한 콘크리트, 양생실내의 온도변화 측정

• 벽서의 교반기가 마모되었는지를 정기적으로 점검하여 2mm 이상 마모되면 즉시 교환하도록 한다.

• 콘크리트 투입시 2.0m³/min 이내로 투입하고 Vibrater가 충분히 효율을 발휘하도록 위치를 조정한다.

管腐蝕 防止를 위한 外部코팅

해안지대와 같이 Chloride의 농도가 특히 많은 地帶에는 管을 保護하기 위하여 특별한 對策을 세우지 않으면 P.C강선 및 鐵材의 腐蝕의 우려가 있으므로(실제로 외국에 管이 破裂한 記錄이 있음) 이를 防止하기 위하여 Corrosion Criteria를 정하여 危險한 地域을 통하는 管은 코팅을 하였다.

(1) 管의 腐蝕에 影響을 주는 條件

P.C.C管은 内外面에 콘크리트와 몰탈로 P.C강선과 Steel Cylinder를 감싸고 있기 때문에 腐蝕으로부터 保護되는 것이 長點이다. 普通 콘크리트의 pH値는 12 정도의 강한 Alkali이므로 Chloride 含量이 0.06%(시멘트 量의) 以下일때 그 以上이라도 酸素와 共存하지 않으면 腐蝕이 발생하지 않는다.

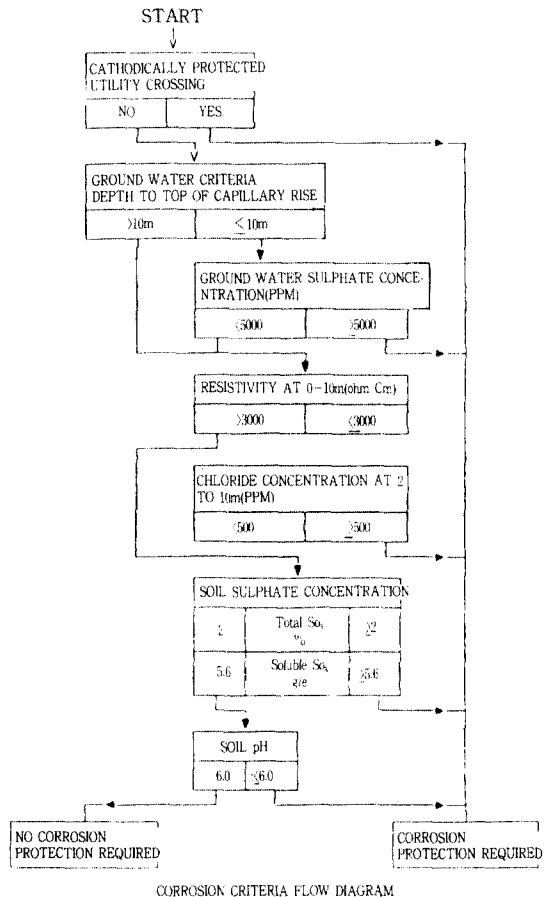
따라서 上記한 條件 즉 Con'c의 pH値가 低下한다면 Con'c內로 Chloride와 酸素 등이 浸透하는 경우 등 다음과 같은 경우를 고려하였다.

- (가) 높은 Chloride 量을 갖는 흙에서 乾濕이 자주 交替되는 경우
 - (나) 토양이나 地下水에 Sulfate(SO₄) 成分이 많을 때
 - (다) pH値가 낮은 酸性 토양중에 管이 埋設될 때
 - (라) Cathodic Protection을 한 Pipe Line이나 전철 또는 다른 直流 電源에서 방전된 전류가 흐를 때
 - (마) 大氣중 長期間 露出시킬 때
- (2) 코팅을 必要로 하는 基準(Criteria)

여러가지 實驗결과치와 記錄을 參考로 하여 다음과 같은 基準을 設定하여 이 地域에 埋設되는 管 또는 構造物은 Corrosion Protection을 하도록 決定하였다.

以上の Criteria를 適用하여 다음과 같은 Flow Diagram을 作成하여 코팅이 必要한 구간을 到出해 내었다.

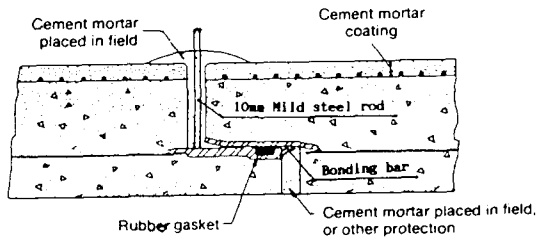
條 件	基 準(Criteria)	備 考
Sulfate 含量	土壤중 溶解性 黃酸鹽의 含量이 5,000ppm以下	必要
土壤의 酸性	pH値가 6.0以下일 때	~
Chloride 含量	乾濕이 反復되는 境遇 Cl ⁻ 의 含量이 500ppm以上이고 電氣抵抗値가 3000 Ω /Cm以下일때	~
電 流	管을 中心으로 100m半徑 以內에 Cathodic Protection System이 있거나 D.C 電流가 집중될 때	~
大氣중 露出	大氣중에 5年以上 露出時 (大氣중의 CO ₂ 와 化合炭酸化됨)	~



管腐蝕 防止 方法

(1) Cathodic Protection System

모든 Pipe Line은 電氣的으로 連結될 수 있도록 P.C. C Pipe에 Bonding Strap을 設置하고 管을 埋設後 Bonding Bar로 連結시키고 既存 送油管과 Crossing되는 部分과 4個所의 Test Section을 選定 Monitoring할 수 있도록 Test Lead Connection Rod를 다음 그림과 같이 設置하였다.



(2) External Barrier Coating

管外部를 Coating하는 System으로 그 재료와 코팅後의 性能의 必要條件을 一次的으로 다음과 같이 정하였다.

(가) Chloride와 Sulphate 이온이 浸透할 수 없어야 한다.

(나) 코팅은 不透水性이어야 한다.

(다) 코팅시 連續作業이 되어 이음매가 없어야 한다.

(라) 코팅 作業이 容易해야 한다.

(마) 코팅면의 接着性이 좋아야 한다.

(바) 管을 運搬, 埋設時 損傷을 입지 않아야 한다.

(사) 코팅은 50년간 耐久하여야 한다.

위의 條件을 滿足하는 方法으로 實驗을 통하여 Coal-Tar Epoxy 塗裝 方法을 採擇하였다. 이 方法은 1972년 美國에서 처음 시도하여 18년이 經過한 現在 그 性能이 優秀함이 立證된 方法이다.

6. 맺는말

리비아에는 2월부터 5월까지 모래바람이 몹시 분다. 심할때면 눈을 뜰 수 없을 뿐더러 불과 5m 전망의 물체도 볼 수가 없을 정도이다. 이런때면 작업을 중단해야하고 2월부터 5월사이에는 이런날에 월간 일주일 이상이 될 때도 있다.

이러한 역경속에서 이 공사에 소요되는 내경 4.0m 길이 7.5m의 P.C.C관 250,000 본을 생산하였다. 250,000 본을 늘어놓으면 부산에서 신의주까지의 왕복거리가 된다. 이 수많은 관을 완벽하게 생산하기 위하여 지질조사에서부터 골재원 조사, 시멘트 품질시험,配合시험 등 오랜기간의 조사와 시험을 반복한 끝에 각종 Spec. Procedure, Manual 등을 작성하여 승인을 받았다. 오죽하면 Pipe Producing이 아니라 Paper Production project라는 말이 나올 지경이었으니까.

관료의 생명은 통수시에 어느 部分에서도 누수가 발생하지 않아야 한다. 이렇게 하기 위하여는 품질관리를 철저히 하여 결함이 발생하지 않아야 되고 관의 생산에서부터, 운반, 매설에 이르는 전공정이 하자가 없어야 한다. 이 공사를 수행하면서 어려웠던 일도 많았으나 그만큼 보람도 큰 공사였다고 생각한다. 이 공사에 참여하였던 모든 분들께 새삼 감사함을 느낀다.