

START TOGETHER AND RENOVATE TOGETHER

# 韓逸技術情報

HAN-IL CONSTRUCTION TECHNOLOGY INFORMATION

(제10호, 1993년 3월)

- I. 국내외 고강도 콘크리트의 개발현황..... (토목과장 이유방)..... 1
- II. 최근의 연약지반 개량공법..... 23
- III. 효율적 시공관리 시스템..... (건축과장 윤종구).....55
- IV. 소화전회로의 문제점 및 개선방안..... (전기차장 김남진).....62
- V. 히트펌프..... (기계과장 문철규).....67
- VI. 자동제어시스템의 검출부 설치방법..... (기계과장 박건영).....79
- VII. 콘크리트 구조물의 SPAN길이에 따른 공사비산출..... (건축설계부)..... 87



韓逸開發株式會社 技術研究所

HANIL INSTITUTE OF CONSTRUCTION TECHNOLOGY

## 國內外 고강도및 초고강도 콘크리트의 개발현황

토목과장      이유방

### 1 서 론

콘크리트는 현재 사용되고 있는 建設資材중 低價이고 내구성, 내화성도 비교적 우수한것으로 알려져 있어 널리 사용되고 있으며 콘크리트가 소성인 성질을 유지하는한 어떠한 형태의 거푸집이나 형틀에도 타설할수 있어 성형이 자유로운 장점이 있다. 이론적으로 콘크리트의 강도는 시멘트 클링커강도인  $3,150 \text{ kg/cm}^2$  이상 증가시킬수 있다고 하나 콘크리트의 단위무게당 強度는 鋼材의 10%정도에도 못미치고 있어 큰 하중이 작용하는 구조물은 자연히 부재단면의 확대와 구조물 자체의 하중증가, 이용면적 축소등의 단점이 있다. 더구나 최근 콘크리트구조물의 특수화, 대형화, 고층화, 경량화 추세에 따라 기존 콘크리트로는 이러한 요구를 만족을 시킬수 없기 때문에 콘크리트의 고품질화 즉 고강도화를 추구하게 되어 외국에서는 지난 60년대 부터 보통 콘크리트의 강도를  $500 \text{ kg/cm}^2$  이상으로 증가시킨 고강도콘크리트(High Strength Concrete)가 개발되어 고층건물이나 원자로와 같은 특수구조물 시공에 적용되어왔다. 콘크리트의 고강도화추세는 이에 그치지 않고  $1,400 \text{ kg/cm}^2$  이상의 초고강도콘크리트(Ultra High Strength Concrete)가 개발이 되어 초고층빌딩에 실용화 되고있다.

국내에서 현재까지의 고강도 콘크리트에 의한 구조물 시공사례를 든다면 원효, 올림픽대교와 원자력발전소 등에 압축강도  $350\sim400 \text{ kg/cm}^2$ 의 콘크리트가 사용된 경우와 일부 건물에 강도  $300 \text{ kg/cm}^2$  정도의 콘크리트가 사용된바가 있을뿐 그 사용실적과 연구개발현황은 미국이나 일본, 유럽국가에 비하여 매우 뒤떨어져있는 형편이다. 이미 외국에선  $1,400 \text{ kg/cm}^2$  압축강도  $500 \text{ kg/cm}^2$ 의 콘크리트시공이 보편화 되었음에도 불구하고 국내에서는 이정도 강도를 갖는 콘크리트에 대한 연구단계를 벗어나 이제 시험단계에 있는 실정이다. 그 이유로서는 설계 및 시공자의 고강도콘크리트에 대한 인식부족과 심리적 한계 그리고 시공에 대한 기술축적 부족에 있다고 하겠다.

앞으로의 국내 건설시장 개방과 사무및 주거용 건물의 고층화 그리고 교량, 터널의 장대화 경향에 따라 기존 콘크리트의 고강도화와 시공에 따른 기술축적은 필연적으로 이

에대한 연구개발, 투자가 이루어져야 한다.

## 2 고강도 콘크리트의 구분

보통콘크리트와 고강도콘크리트에 대한 구분은 일반적으로 콘크리트의 압축강도에 따라 보통콘크리트와 구분을 한다. 미국 ACI(American Concrete Institute) Committee 363에서 제시한 규준에 의하면 보통 중량콘크리트의 경우 압축강도  $420 \text{ kg/cm}^2$  이상의 콘크리트를, 경량콘크리트는  $280 \text{ kg/cm}^2$ 의 콘크리트를 고강도 콘크리트로 구분하고 있으며 일본은 일본건축학회 규준에 강도  $270\text{--}360 \text{ kg/cm}^2$  사이를 토목학회에서는  $600\text{--}800 \text{ kg/cm}^2$  정도의 콘크리트를 고강도콘크리트 라고 정의하고 있다. 독일의 DIN 1045에 의하면 강도  $250 \text{ kg/cm}^2$  이하의 콘크리트를 B1으로 그이상의 강도( $350\text{--}550 \text{ kg/cm}^2$ )를 갖는 콘크리트를 BII로 하여 보통콘크리트와 구분하고 있다. 강도에 의한 구분도 각국마다 서로 상이하여 명확한 규준은 마련되어있지 않으나 일반적으로 압축강도 400 이상  $800 \text{ kg/cm}^2$  이하의 콘크리트를 고강도콘크리트라고 부르고, 그이상 강도의 콘크리트를 초고강도콘크리트 라고 한다.

국내에서는 건설부제정 건축공사표준시방서에 의하면 중량콘크리트의 경우 일본과 같이 압축강도  $270\text{--}360 \text{ kg/cm}^2$ 를, 경량콘크리트는  $240 \text{ kg/cm}^2$  이상을 고강도콘크리트 라고 간주하고 있다. 그러나 이미 교량등의 구조물에 압축강도  $350\text{--}400 \text{ kg/cm}^2$ 의 콘크리트가 사용된 실적도 있고 최근 극한강도 설계규준이 콘크리트 압축강도를  $400\text{--}500 \text{ kg/cm}^2$ 로 하고 있어 고강도 콘크리트에 대한 강도개념도 달라져야 할것이다.

## 3 고강도및 초고강도 콘크리트및 제조및 특성

보통콘크리트를 최적 배합설계와 복수양생을 하면 압축강도를  $450 \text{ kg/cm}^2$  까지 도 달할수 있다고 하나 이는 실험실에서나 가능한것으로 일반 건설현장에서는 이와같은 방법의 적용에 그 실현가능성이 희박하다. 현재까지 개발된 콘크리트의 강도개선방법으로 다음과 같은것들이 있다.

### 1) 결합재의 강도개선

- 콘크리트의 배합, 양생의 개선 (물/시멘트비와 공극감소, 오토클레이브양생, 진동및 가압다짐법, 高强度用시멘트나 Polymer사용)

## 2) 골재강도의 개선

- 양질의 골재나 인공골재 선택

## 3) 골재와 결합재의 부착강도개선

- 클링거나 활성골재를 사용하여 시멘트 매트릭스와 골재의 부착강도 증가

이와 같은 방법들 중에서 가장 보편적으로 이용되고 있는 방법은 첫번째 방법의 콘크리트의 배합비 개선, 실리카 흙(Silica Fume)등의 혼화재 사용으로 강도를 개선하는 방법이 대표적이다.

## 3.1 고강도 콘크리트의 제조

### 3.1.1. 재료의 선택

#### 3.1.1.1 시멘트

고강도콘크리트 제조용 시멘트는 일반시멘트에 비하여 고분말도를 가진 시멘트를 사용한다. 미국의 경우 분말도  $4,000 \text{ cm}^2/\text{g}$  이상이고 시멘트성분중 수화열, 초기경화, 팽창을 방지하기 위하여  $\text{C}_3\text{A}$  와  $\text{SO}_3$  성분을 각각 4%, 0.2%이하로 규제하고 있다.

국내산 시멘트의 분말도는  $2,500 \text{ cm}^2/\text{g}$  정도로 주문자 요구에 의한 수출용이 분말도  $3,500 \text{ cm}^2/\text{g}$ 에 비하여 차이가 있다. 수출용시멘트도 미국기준에는 미달하지만 수출용 시멘트를 사용한 콘크리트의 강도발현이 내수용보다 우수한것으로 나타나 있다(그림1). 또한 후기강도가 불리한 3종시멘트는 사용해서는 안되며 최근 수입되고 있는 동구산이나 중국산 시멘트의 품질이 국산보다 떨어지는 경우도 있으므로 사용전 충분한 사전시험이 필요하다.

#### 3.1.1.2 골재

##### a) 조골재

보통 콘크리트의 파괴가 골재와 시멘트물탈사이의 부착면에 균열이 발생, 균열이 시멘트 물탈부위로 발전됨에 따라 파괴가 이루어지는 반면 콘크리트 강도가 높아질수록 시

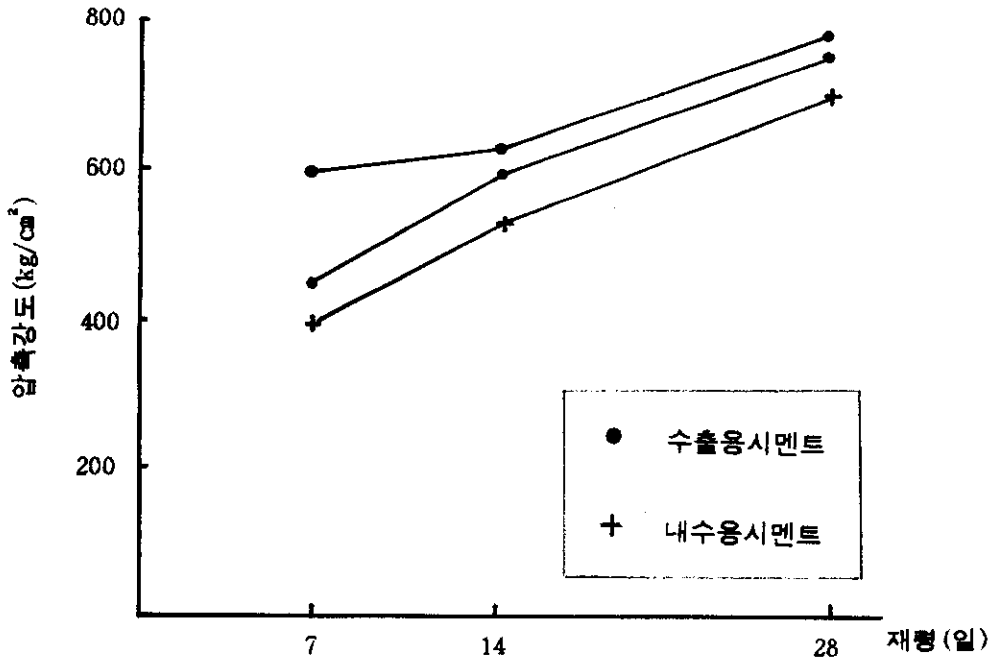


그림 1 시멘트 종류에 따른 콘크리트의 강도발현 (고성능혼화제 혼입율 : 0.75 vol. %, W/C : 0.3)

멘트물탈과 골재가 동시에 파괴되는 양상을 보여주고 있어 골재 자체의 강도도 시멘트풀과의 강도보다 같거나 그이상이 되어야 한다. 따라서 연질의 퇴적암보다는 화강암이 유리하다. 보통콘크리트에 사용이 되는 국내산 골재의 평균압축강도는  $700\text{kg/cm}^2$  정도로 고강도 콘크리트제조에는 별문제가 없는것으로 생각된다.

골재는 시공성에 있어 매끄러운 강자갈이 쇄석보다는 좋다는 주장도 있으나 국내 시험결과에 의하면 碎石과 같이 각이지고 표면이 거친 골재가 강자갈보다 압축강도가 7-18% 큰것으로 나타나 있다. 쇄석은 시멘트 물탈과 부착력이 우수하여 강자갈을 사용한 콘크리트보다 강도가 증가되는것으로 해석될수 있다. 그러나 강자갈을 사용할때 보다 시공연도(workability)의 저하를 고려해야 한다.

쇄석골재의 物性은 산지의 지리학적인 영향과도 밀접함으로 골재선택에 앞서 물성 시험을 하는것이 원칙으로 경기도 곤지암, 비봉, 안양, 충남 봉암의 4개소에서 채취한 골재의 입도, 마모율등을 산지별로 품질시험한 결과를 보면 경기도 광주군의 곤지암산 골재가 가장 양호한 것으로 나타나 있다.

보통콘크리트에서는 주어진 시공연도에서 골재치수가 클수록 골재와 시멘트풀과의 접촉면이 적어짐으로 시멘트양과 단위수량이 적게들어가는 이점이 있지만 고강도콘크리트의 제조에서는 골재의 최대치수는 작은것이 유리하다. 그림2는 고강도콘크리트제조에 있어 시멘트종류, 골재크기와 시멘트 强度效率(strength efficiency:시멘트 1파운드당의 압축강도)과의 관계를 나타낸이다. 그림에서 보면 시멘트 몰탈의 강도가 증가할수록 골재치수가 작은것이 유리한것으로 나타나고 있는데 압축강도 4,000 psi(약 280 kg/cm<sup>2</sup>)의 시멘트인 경우 1 inch(25.4 mm)정도의 골재가 최대의 강도효율을 나타내는 것을 보여준다.

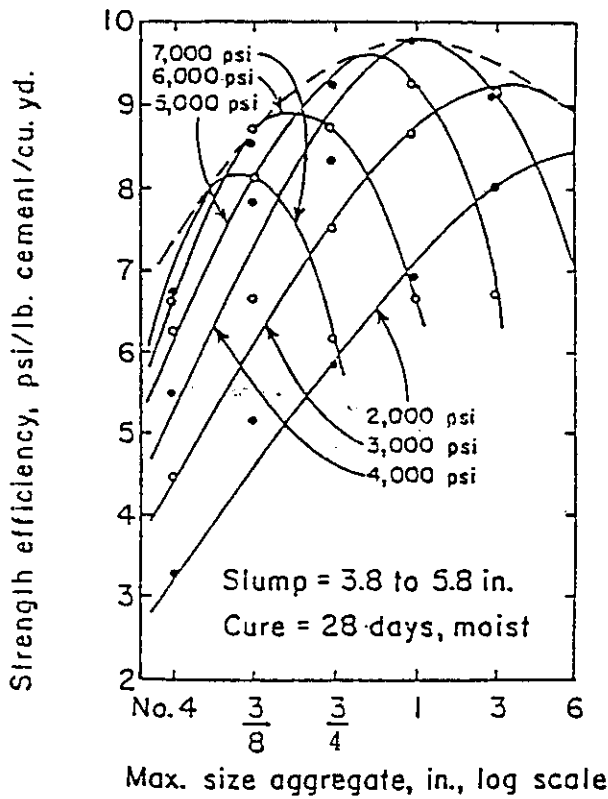


그림 2 콘크리트의 압축강도, 골재크기와 강도효율과의 관계

그러나 골재의 치수가 작아지면 단위시멘트양도 증가를 하게 되어 그림3에 골재의 최대치수와 단위시멘트양의 관계를 국내 시험자료를 인용하여 콘크리트 압축강도별로 나타내었다.

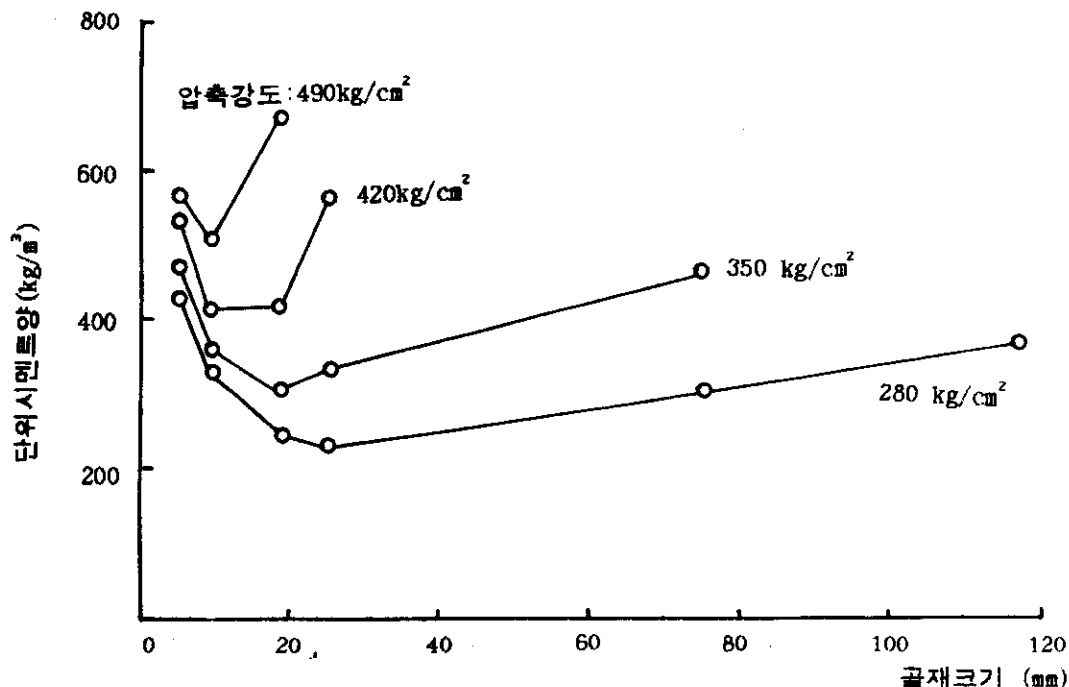


그림 3 콘크리트 압축강도별 골재의 최대치수와 단위시멘트양과의 관계

그림3에서 보는바와 같이 콘크리트의 압축강도가 증가할수록 단위시멘트양도 비례하여 증가를 하고 골재치수 25mm정도에서 최소의 단위시멘트양을 보여준다. 이관계를 그림2와 관련시켜보면 압축강도 350 kg/cm<sup>2</sup> 이상의 콘크리트에서는 골재의 최대치수가 5mm-19mm 정도에서 최대의 강도효율과 최소의 단위시멘트양을 얻을수 있음을 알수있다. 국내의 실험결과를 보면 골재크기가 이범위안에서 최대의 압축강도(680-640kg/cm<sup>2</sup>)를 나타내고 있는것으로 보고되고 있으며 이때의 단위시멘트양은 500-550 kg/cm<sup>2</sup> 가 적당량으로 되어있다. 그러나 국내에서 생산되고 있는 골재의 치수는 25 mm이상으로 최대의 강도효율을 얻기위하여서는 그이하치수의 골재를 선택해야 하나 이경우 골재구입가격의 상승도 고려되어야 할것이다.

#### b) 새골재

고강도콘크리트에서는 최대한 단위수량을 낮추어야 하기때문에 새골재의 조립율을 보통콘크리트보다 높은 3.0정도로 하여 가는모래는 피하고 잔골재비(s/a비:골재의 전체용적에 대한 새골재의 비)는 0.35에서 0.40범위가 적당하다. 보통콘크리트에 사용되는

세골재 역시 조골재와 마찬가지로 고강도콘크리트제조에 큰문제는 없는것으로 알려져 있다. 세골재의 산지별 입도시험 결과에 의하면 한강 미사리産 골재가 조립율 3.0이상으로 알려져 있다.

### 3. 1. 2 단위수량의 감소

물/시멘트비(W/C비)는 콘크리트강도에 가장 큰 영향을 주는 요소로 이를 압축강도와의 관계를 Abrams 의 물/시멘트비說에 의하여 수식적으로 나타내면  $F_c = A/B^x$  ( $F_c$ : 콘크리트압축강도( $\text{kg/cm}^2$ ),  $A, B$ : 시멘트 품질 등에 의한 상수,  $x$ : 물/시멘트비)로 표현 된다. 따라서 물/시멘트비의 증가는 압축강도의 저하를 가져오며 이를 그림4의 물/시멘트비와 압축강도와의 관계 시험결과에서 보는바와 같이 물/시멘트비가 0.5이상에서는 급격한 강도저하를 가져오므로 고강도콘크리트의 제조를 위해서는 물/시멘트비를 0.4이하로 감소시켜야 한다. 고강도콘크리트에서는 W/C비를 시멘트의 수화작용이 가능한 최소범위인 0.2까지 낮추는 것도 가능하기도 하나 이경우 배합이 거의 불가능하게 되므로 W/C비를 0.25에서 0.4범위로 하고 시공성이 향상을 위하여 고성능감수재를 사용한다.

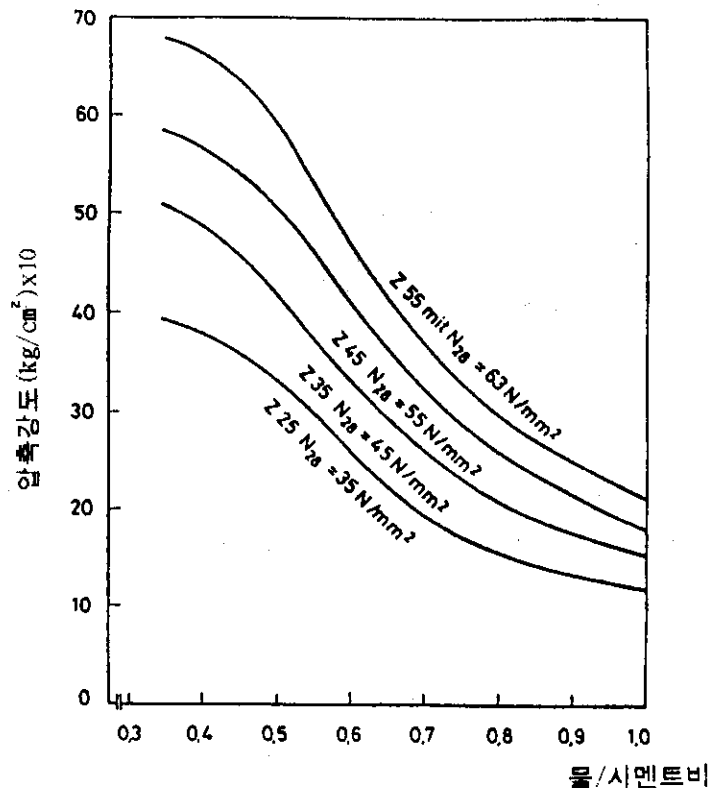


그림 4 물/시멘트비와 콘크리트 압축강도와의 관계

감수제는 시멘트입자에 대한 습윤, 분산작용이 강한 계면활성제의 일종으로 단위수량감소, 워커빌리티개선, 水密性증가 등의 목적으로 사용되어 왔으며 감수제의 사용으로 5-15%의 감수효과를 가져온다. 그러나 그이상의 감수를 목적으로 과량으로 투입될경우 콘크리트의 응결, 경화에 영향을 미치게 된다. 따라서 콘크리트의 품질에 영향을 미치지 않고 대폭적인 감수효과를 얻을수 있는 고성능감수제(super plasticizer, super fluidizer, super water reducer etc.)가 개발이 되었다. 고성능 감수제는 비중 1.15-1.2 정도의 암갈색 또는 갈색의 고분자화합물로 액상이나 분말상태로 생산이 된다. 감수제성분 중  $-NaSO_3$ 가 시멘트입자표면에 흡착, 시멘트입자는 양전하를 띠게되고 이로인하여 입자끼리 서로 상호반발력을 갖게됨으로 시멘트입자의 분산효과와 유동성을 증가시킨다(그림 5).

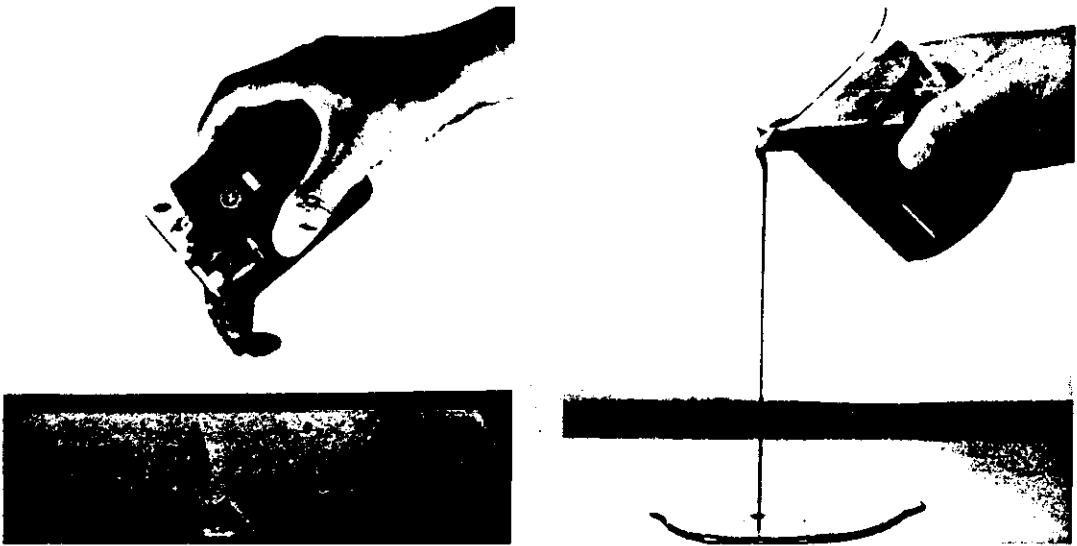


그림 5 고성능감수제를 사용한 시멘트몰탈과 사용하지 않은 몰탈(W/C:0.25)의 유동성 비교

따라서 고성능 감수제의 사용으로 최소의 물/시멘트비에서 콘크리트 배합, 타설이 가능하므로 고강도콘크리트의 제작이 가능하다. 고성능감수제는 일본에서 개발된 나프탈린 포름알데히드 술폰산염(Sulfonated Naphthalene Formaldehyde Condensate:SNF), 독일에서 개발된 멜라민술폰산염(Sulfonated Melamine Formaldehyde Condensate:SMF), 그의 리그노 술폰산염(Modified Ligno Sulfonates:MLS), 아릴알킬술폰산염(Sulfonated Aryl Alkyl Condensate) 등이 있다. 국내에서는 대부분 SNF계통의감수제가 수입되고 있으며 SMF계의 감수제로 MELMENT L-10 그리고 국산으로 HINOL-F2, AMISOL-SUPER등이 있다.

그림 6은 고성능감수제의 혼입율, 슬럼프값과의 관계를 나타낸것으로서 고성능감수제의 투입으로 급격한 슬럼프값의 증가가 이루어 지나 혼입율이 시멘트무게의 0.55% 이상일 경우 슬럼프증가는 혼입율에 비하여 현저하게 떨어져 0.9%이상에서는 슬럼프의 증가가 거의 없는것을 보여주고 있다. 국내에서의 시험결과를 보면 고성능감수제의 혼입율은 대부분 1.0% 정도이며 최고 1.5%까지 혼입이 된경우도 있어 그림 6과는 많은 차이를 보이고 있다. 또한 고성능감수제에 따라 콘크리트의 급결현상과 재료분리등이 일어나거나 슬럼프값의 증가가 없는경우도 있어 고성능감수제의 사용전에 충분한 시험이 이루어져야 할것이다.

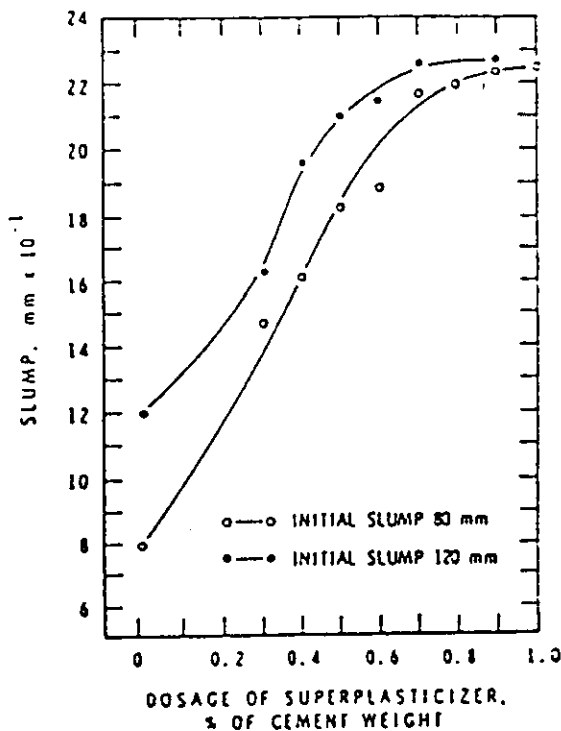
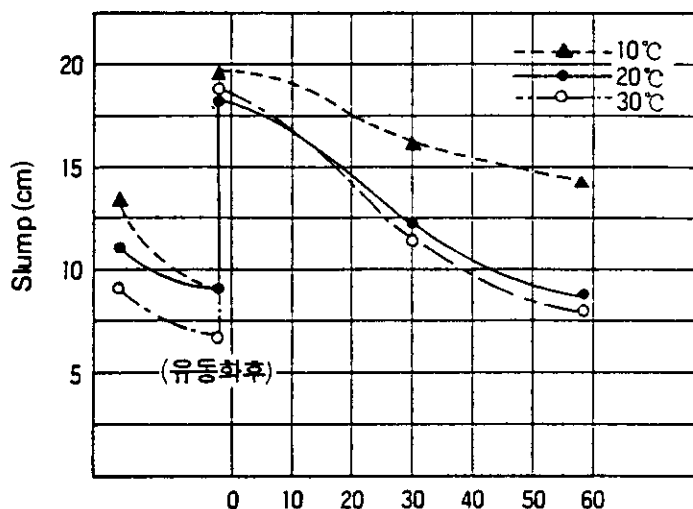


그림 6 고성능감수제 혼입율과 슬럼프값의 관계

### 3. 1. 3 비빔, 타설

고성능감수제의 가장 큰 약점으로 고성능감수제를 사용했을때 슬럼프값은 항상 일정한 값을 유지하는것이 아니고 시간이 지남에 따라 감소를 하게 된다. 그림 7은 국내에 수입되고 있는 SNF계 고성능감수제의 첨가(시멘트중량비율 1%, W/C:0.31, S/A:0.36)에 따른 슬럼프값과 투입후의 경과시간과의 관계를 나타낸것이다.



고성능감수제 혼입후의 경과시간 (분)

그림 7 경시변화에 따른 슬럼프값의 변화

슬럼프값은 고성능감수제의 투입 30분후 초기 슬럼프값의 50%정도로 감소하여 60분 경과후 투입하기전 과의 같은 상태를 나타낸다. 이러한 슬럼프저하현상은 온도가 높으면 높을수록 더욱 급격하게 진행되므로 가능한한 비빔이 끝난후 신속하게 현장으로 운반하여 타설시키지 않으면 안된다. 그러나 국내 교통사정을 볼때 batcher plant에서 10-20분 이내에 현장으로 콘크리트를 운송시키기는 거의 불가능한 실정이므로 현장에서 콘크리트 타설전에 혼합시키는 것이 가장 좋은 방법으로 생각된다

batcher plant에서 비빔경우 ACI보고서에 의하면 비빔시간은 콘크리트  $0.75\text{m}^3$  당 1분이며 추가  $1\text{m}^3$ 당 0.25분을 권장하고 있다. 강제식 믹서인 경우  $1.5\text{--}3.0\text{m}^3$ 의 용량에서는 60-90초, 가경식 믹서에서는 120-180초 정도이면 양호한 슬럼프의 콘크리트가 가능하다고 하나 믹서의 성능에 따라 차이가 있으므로 역시 사전 시험배합이 필요하다. 고강도 콘크리트의 타설장비로는 버킷, 슈트(chute), 호퍼(hopper), 압송펌프등이 사용된다. 타설중 W/C비, 슬럼프, 공기량과 타설후의 다짐이 용이하게 선택되어야 하며 특히 펌프카로 고층에 콘크리트를 압송시켜야 하는경우 고강도 콘크리트에서는 보통 콘크리트에서 보다 압력손실이 크므로 이에 대한 고려도 필요하다. 또한 콘크리트내 공극을 최소화하기 위하여 내부진동기로 콘크리트를 충분히 충전시켜야 한다.

### 3. 1. 4 양 생

보통 콘크리트에서와 마찬가지로 고강도콘크리트의 양생에도 수화작용이 진행되는 동안 습윤양생이 권장되고 있다. 그러나 특수부재를 생산할경우 가압증기양생이 사용되기도 한다. 제조시 콘크리트의 표면에만 습기를 유지시키는 피막양생에 비하여 추가로 물을 공급하여 타설된 콘크리트가 항상 습기를 유지시키는 습윤양생은 시멘트의 수화작용을 더욱 효율적으로 진행시킴으로 콘크리트의 강도발현에 기여를 한다. 그림 8에서 보는 바와 같이 연속적으로 습윤상태를 유지해준 콘크리트에 비하여 그렇지 않은 콘크리트는 습윤양생콘크리트 강도의 50%정도에도 못미치고 있다.

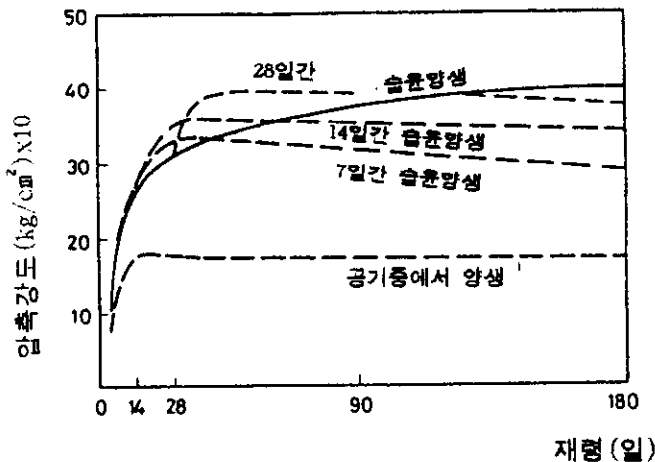


그림 8 양생상태에 따른 콘크리트의 강도발현

또한 고강도 콘크리트의 제조에 사용되는 시멘트는 분말도가 보통시멘트에 비하여 높고 단위시멘트양의 증가로 수화열의 발생이 보통콘크리트보다 높은것으로 알려져 있다. 그림 9는 가로,세로 90 cm의 정방형 기둥에서 실리카 흡을 사용한 콘크리트기둥의 내부온도를 나타낸것으로 W/C의 비가 0.25일때 여름에 최고 95 °C 까지 상승하는것을 보여주고 있다. 국내의 실험자료에서도 폭 40 cm, 높이 60cm의 고강도 콘크리트보에서 타설 후 24시간에 최고 45 °C까지 상승하였다는 기록도 있어 특히 여름에 이에 대한 적절한 대책이 요망된다. ACI 363에 의하면 콘크리트 내부의 온도상승이 예상되는 경우 2종 시멘트(Type II 시멘트)를 권장하기도 하며 미국의 Pacific First Center의 시공에 사용된 바도 있다.

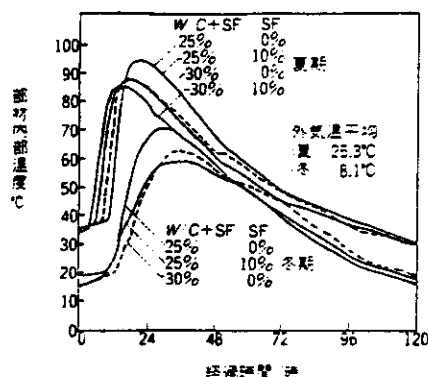


그림 9 실리카 흙을 사용한 기동공시체의 내부온도변화

### 3.2 초고강도 콘크리트의 제조

앞서 설명한바와 같이 고성능 감수제와 적절한 골재선택으로 압축강도를  $500 \text{ kg/cm}^2$  정도 까지 가능하였으나 그이상의 고강도, 고성능 콘크리트 제조를 위하여 위하여 실리카 흙(Silica Fume)이 사용된다. 실리카흙이란 Silicon 합금이나 Ferrosilicon합금등의 규소합금을 전기아크爐에서 제조할때 연소가스를 집진하여 얻어지는 부산물로서 입경이 매우 미세한 ( $50 \text{ A}-5\mu\text{m}$ , 평균  $0.1\mu\text{m}$ ) 구형입자로서 그 비표면적(단위무게당의 입자표면적)은  $22\text{m}^2/\text{g}$ 으로서 시멘트입자의 70-80배이다. Silicon합금의 제조에는 다량의 전력이 필요하게 되는데 수력발전시설이 많고 전력비가 비교적 저렴한 북구 유럽(핀란드, 노르웨이, 스웨덴)이나 캐나다동지에서 생산의 대부분을 차지한다. 실리카 흙은 국내에서 생산이 된 바도 있으나 Silicon합금의 채산성 문제로 생산이 중단되어 최근 전량 수입에 의존하고 있다.

보통콘크리트에서 골재와 시멘트물탈사이는 외부하중에 대하여 가장 취약한 부분으로 이부분에 미세한 균열이 발생하고 이균열이 확대되 감에 따라 콘크리트의 파괴가 이루어진다. 그러나 실리카 흙을 콘크리트에 혼입시키면 실리카입자가 시멘트의  $\text{Ca(OH)}_2$ 와 반응하여 매우 수밀한 CSH(Calcium Silicate Hydrate)를 형성, 매우 강도가 높고 미세한 미립자 구조를 이루고 그강도는 골재에 준한다. 동시에 CSH는 콘크리트의 공극을 충전시키고 실리카 흙이 액체와 같이 작용하여 시멘트와 골재간의 접착력 증가 시킴으로서 콘크리트의 수밀성, 압축강도, 유동성을 향상시킨다. 또한 실리카 흙이 일정량 이상의 실리카 흙을 투입하는 경우 콘크리트 구조물에 있어서 알칼리골재반응의 억제효과도 있는 것으로 알려져 있다.

실리카 흙은 產地, 조업상태, 생산 및 품질관리기술정도에 따라  $\text{SiO}_2$  함량, 입자크기 및 균질성, 탄소 및 불순물 함유량, 비표면적에 따라 상당한 품질의 차이를 보이고 있다. 따라서 실리카 흙을 콘크리트에 사용할때마다 품질을 확인할 필요가 있다.

실리카 흙을 사용하면 시멘트의 수산화 칼슘( $\text{Ca(OH)}_2$ )과 급격히 반응하여 gel상의 Calcium Silica Hydrate를 생성함으로 슬럼프의 발현성이 불량하고 슬럼프 손실이 크다. 국내 보고에 의하면 실리카 흙을 사용했을때 물/결합재비( $W/(C+Si)$ ) 40%, 실리카 흙 혼입율 10%에서 슬럼프손실율이 10%에서 최고 90% 정도로 나타나 있어 실리카 흙에 따라 그 손실의 범위도 광범위 하다. 실리카 흙의 적정 혼입율은 5-15%정도로서 5%이하에서는 강도증가를 기대하기 힘들며 10%이상에서는 콘크리트가 매우 점성을 가지게 되어 시공성과 다짐이 매우 힘들다.

#### TYPICAL CHEMICAL ANALYSIS OF SILICA FUME

|                         |     |      |      |
|-------------------------|-----|------|------|
| $\text{SiO}_2$          | (%) | min. | 92.0 |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | (%) | max. | 2.5  |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | (%) | max. | 1.5  |
| $\text{CaO}$            | (%) | max. | 2.0  |
| $\text{MgO}$            | (%) | max. | 3.0  |
| $\text{Na}_2\text{O}$   | (%) | max. | 2.5  |
| $\text{K}_2\text{O}$    | (%) | max. | 3.0  |
| C                       | (%) | max. | 2.5  |
| S                       | (%) | max. | 0.2  |
| L. O. I.                | (%) | max. | 3.5  |

#### TYPICAL PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SILICA FUME

|                                                 |                   |
|-------------------------------------------------|-------------------|
| Specific surface area ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) | 18-20             |
| Specific gravity                                | 2.2               |
| Bulk density ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )         | 250-300           |
| Fineness (ave. dia) ( $\mu\text{m}$ )           | 0.1-0.2           |
| Percent passing $45\mu\text{m}$ (%)             | 95-100            |
| Particle shape                                  | spherical         |
| Form                                            | amorphous         |
| Canadian Standard                               | CAN/CSA-A23.5-M86 |

표1 실리카 흙의 화학적 조성 및 물리학적 성질

### 3.3. 고강도 및 초고강도 콘크리트의 특성

#### 3.3.1 역학적 특성

##### 3.3.1.1 응력/변형율과의 관계

콘크리트의 응력/변형율과의 관계는 구조물의 해석과 설계에 매우 중요한 자료로서 그림 10에 콘크리트의 압축강도 250-900 kg/cm<sup>2</sup> 범위에서의 응력/변형율과의 관계를 보였다. 그림에서 보는바와 같이 압축강도 250kg/cm<sup>2</sup> 정도의 콘크리트에 비하여 고강도콘크리트는 최대응력에 도달한 이후 급격한 응력저하를 보여주고 있어 보통콘크리트보다 더욱 취성인 면을 보여주고 있는데 이는 그림 11에서 보는바와도 마찬가지로 콘크리트가 고강도화 함에 따라 변형율, 응력과의 관계는 선형을 이루고 있어 골재와 같이 하중에 의해 내부균열이 전파되는 시점과 균열로 인하여 파괴되는 종점이 짧다는것을 나타내며 또한 콘크리트 구성재료가 균질화 됨을 의미한다. 실제적으로 실리카 흙을 사용한 콘크리트의 파괴면을 보면 보통콘크리트와는 달리 표면이 매끄러운 형상을 띠게된다.

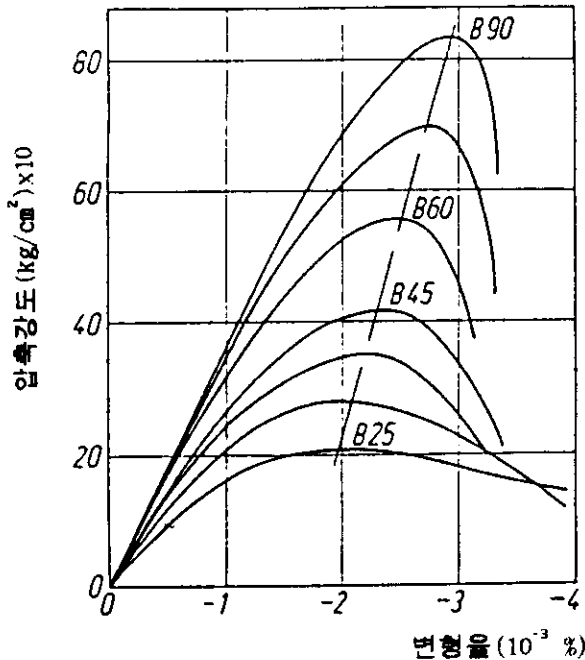


그림 10 콘크리트의 응력, 변형율과의 관계

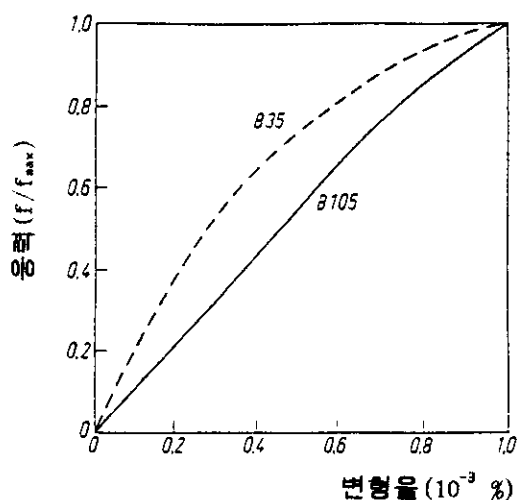


그림 11 콘크리트(압축강도 350kg/cm<sup>2</sup>과 1,050 kg/cm<sup>2</sup>)의 응력, 변형율과의 관계

그림 12는 콘크리트의 강도와 탄성계수와의 관계를 외국의 자료를 인용하여 나타낸 것으로 이를 수치적으로 나타내면  $E = 10,000f_c^{0.3}$  로 표현될 수 있다. 국내시험결과에 의하면 압축강도 700kg/cm<sup>2</sup> 이상의 콘크리트 탄성계수는  $25.2-29.4 \times 10^4$  정도로서 외국 결과에 차이를 보이고 있다. 실제로 콘크리트의 압축연단의 변형율은 ACI 363 에서는 압축강도 12,000 psi (840 kg/cm<sup>2</sup>) 까지는 보통 콘크리트에서와 마찬가지로  $e=0.003$  을 사용하고 있으며 그이상의 강도에서는 0.025를 권장하고 있으나 현재 국내 고강도 콘크리트의 기술개발 수준이 압축강도 840kg/cm<sup>2</sup> 이하의 범위에 머물르고 있어 변형율 0.003을 사용해도 설계상 무리는 없는것으로 생각된다.

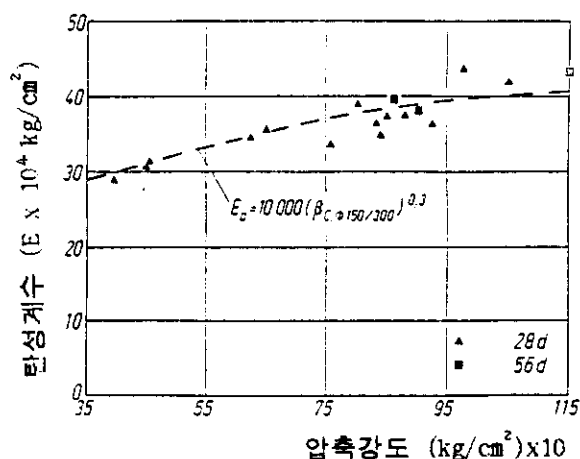


그림 12 콘크리트의 압축강도와 탄성계수와의 관계

### 3.3.1.2 강도특성

고강도 콘크리트의 강도특성은 단위시멘트량, 골재의 크기, 물/시멘트비 등에 의하여 달라질수가 있다. 이중 골재의 크기에 대하여는 이미 3.1.1.2장에서 기술을 한바가 있어 고강도콘크리트의 최적배합비 결정을 위한 물/시멘트비, 단위시멘트양에 대하여 알아본다.

#### (1) 물/시멘트비, 단위시멘트양

그림13은 국내에서 사용되고 있는 고성능감수제(혼입율:1 vol.%)를 투입했을때 물/시멘트비와 28일 압축강도의 관계를 나타낸것으로 물/시멘트비가 0.5일때와 0.3일때의 압축강도 차이는 2배이상의 차이를 보이고 있어 압축강도 500 kg/cm<sup>2</sup> 이상의 강도를 얻기 위해서는 물/시멘트비를 0.4이하로 낮추어야 한다. 국내 현장시험 결과를 보면 물/시멘트비는 대부분 0.3에서 0.4정에서 압축강도 450-550 kg/cm<sup>2</sup>에 도달하고 있어 그림13의 시험자료와 일치하는 하고있으나 외국에서와 같이 물/시멘트비 0.3이하에서의 배합은 아직 이루어 지지않고 있다.

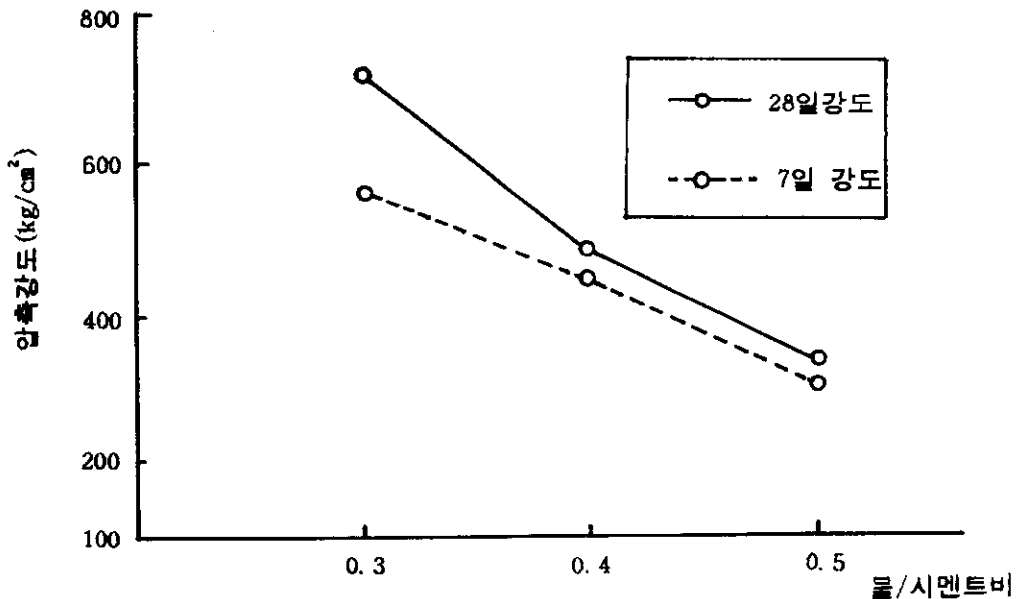


그림 13 물/시멘트비와 콘크리트 압축강도와의 관계

고강도 콘크리트의 최적배합비 설정을 위하여서는 물/시멘트비와 아울러 단위시멘트양의 산정도 중요한데 그림 14에 물/시멘트비에 따른 단위시멘트양과의 압축강도의 관계를 나타내었다.

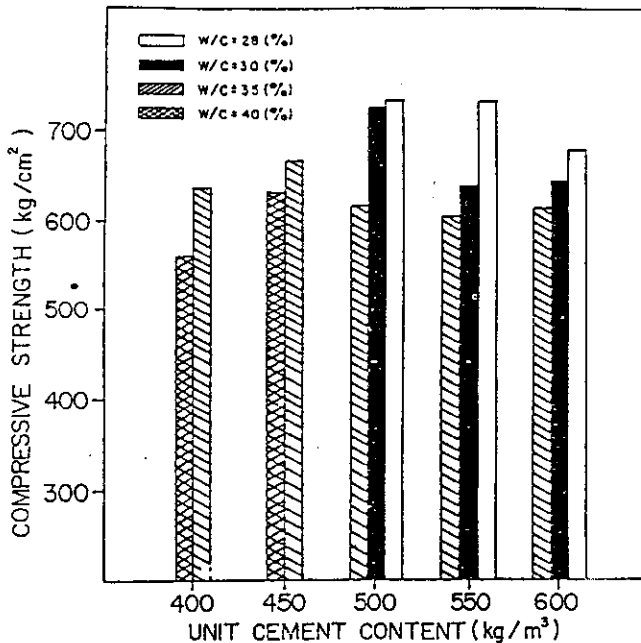


그림 14 단위시멘트량과 물/시멘트비에 따른 콘크리트 압축강도와의 관계

그림에서 보는바와 같이 물/시멘트비가 높으면 (0.35-0.45) 단위시멘트량의 증가에 따라 강도도 증가되는 경향을 보여주나 그이하의 물/시멘트비에서는 단위시멘트량의 증가에 강도증가는 무관하거나 오히려 강도의 감소를 가져온다. 물/시멘트비가 0.35-0.4일 때 최적 단위시멘트량은  $450 \text{ kg/m}^3$  이며 그이하에서는  $500 \text{ kg/m}^3$  을 알수가 있다.

고성능감수제의 종류에 따른 강도발현의 차이는 시험결과에 따라 많은 차이를 보이고 있다. 이들을 종합해볼때 Mighty-150, Daracem, Melment L10 이 비교적 우수한것으로 나타나 있으나 이는 강도만 고려한것으로 혼입시의 슬럼프, 혼입량, 가격등을 다른 조건들도 고려를 해야한다.

실리카 흙의 혼입율과 강도와와의 관계는 그림 15에서 보는바와 같이 보통양생하에서 15% 혼입을 까지는 혼입율과 강도증가와는 비례하여 증가한다. 그러나 그이상에서는 오히려 강도의 저하를 보여주고 있다. 콘크리트를 고온양생할경우 압축강도는 실리카흙 혼입율, 양생온도에 비례하여 혼입을 30%까지 증가를 하며 오토클레이브양생일때의 압축강도는 보통양생때보다 약 40%의 강도증가를 가져온다.

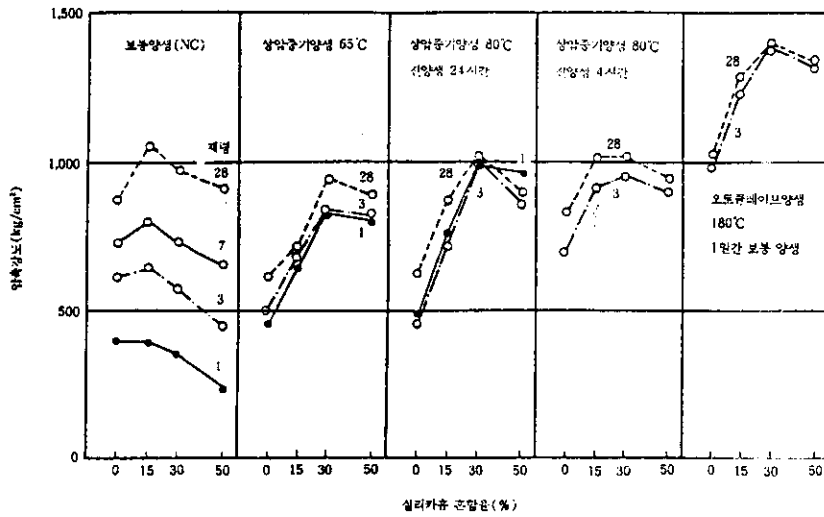


그림 15 실리카 흙 혼입율, 양생조건과 압축강도와의 관계 (W/C+S 30%)

물/시멘트비는 0.22~ 0.35 정도의 범위로 시공성과 다짐을 좋게하기 위하여 감수제의 사용이 필요하다. 그림 16은 실리카 흙 10% 혼입에 대한 물/시멘트비와 압축강도와의 관계를 나타낸것으로 콘크리트의 압축강도는 고성능감수제를 사용한 고강도콘크리트보다 물/시멘트비에 더욱 강도의 차이를 보여주고 있다. 따라서 물/시멘트비를 가능한 범위에서 최소로 하기위하여서는 고성능감수제가 투입이 되는데 SNF제의 고성능감수제를 사용할 경우 콘크리트 1<sup>m</sup>³당 5-20 리터 정도가 사용된다.

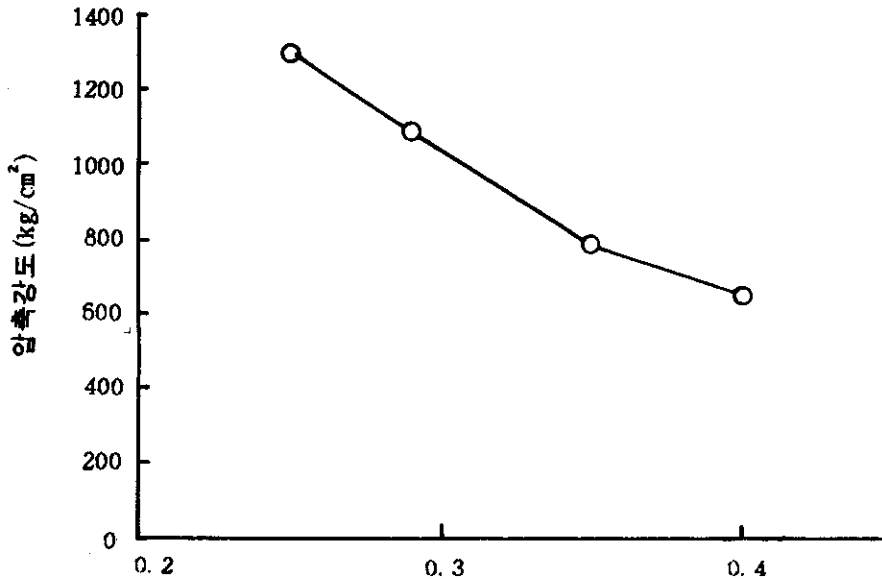


그림 16 콘크리트 압축강도와 물/시멘트비와의 관계

표2는 시멘트강도 450 kg/cm<sup>2</sup> 와 실리카 흙을 사용한 초고강도콘크리트(압축강도 850-1,250kg/cm<sup>2</sup>)에 사용된 외국의 배합설계예를 나타낸것이다.

| 압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )       | 850   | 1,000 | 1,250 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| 시멘트 (kg/m <sup>3</sup> )         | 455   | 450   | 450   |
| Silica Fume (kg/m <sup>3</sup> ) | 30    | 45    | 45    |
| 골재 (0-12 mm)(kg/m <sup>3</sup> ) | 618   | 654   | 661   |
| (2-8 mm)                         | 360   | 353   | 358   |
| (8-16 mm)                        | 738   | 760   | 768   |
| 계:                               | 1,716 | 1,767 | 1,787 |
| 물 (l/m <sup>3</sup> )            | 163   | 138   | 128   |
| 고성능감수제 (l/m <sup>3</sup> )       | 6.8   | 16.9  | 22.5  |
| 지연제 (l/m <sup>3</sup> )          | 1.6   | 1.8   | 1.8   |
| 물결합제비                            | 0.34  | 0.28  | 0.26  |
| 콘크리트온도 (°C)                      | 25    | 24    | 23    |
| 공기량 (vol.%)                      | 1.9   | 1.5   | 1.5   |

표 2 초고강도 콘크리트의 배합설계에

#### 4 국내외 고강도및 초고강도 콘크리트의 사용현황

최근 국내의 地價상승과 택지면적의 감소, 콘크리트 구조물의 고층화, 특수화, 대형화 경향에 따른 콘크리트의 품질개선은 필수적이다. 참고로 우리와 생활양식이나 토지환경이 비슷하다는 일본의 주거형 건물(아파트, 오피스텔 등)높이의 증가경향을 그림17에 나타내었다.

건물의 층수는 1985년을 기점으로 20층 이상건물의 건설동수가 급격히 증가하여 90년대에 들어와 40층이상의 주거형 건물도 출현하고 있다. 이러한 대부분의 고층아파트는 압축강도 360-450kg/cm<sup>2</sup> 의 콘크리트로 시공되었으며 40층일 경우 설계기준강도는 최대 480 kg/cm<sup>2</sup>이다. 그림 18은 일본과 미국의 콘크리트조 고층건물의 층수와 설계기준강도와와의 관계를 나타낸것으로 미국의 경우 30층 이상의 건물은 설계기준강도가 500 kg/cm<sup>2</sup> 이상을 알수있으며 이기준으로 우리나라의 63 빌딩 정도의 건물을 철근콘크리트조로 건축을 하자면 평균 600-700 kg/cm<sup>2</sup> 정도의 압축강도를 가진 콘크리트가 필요하다.

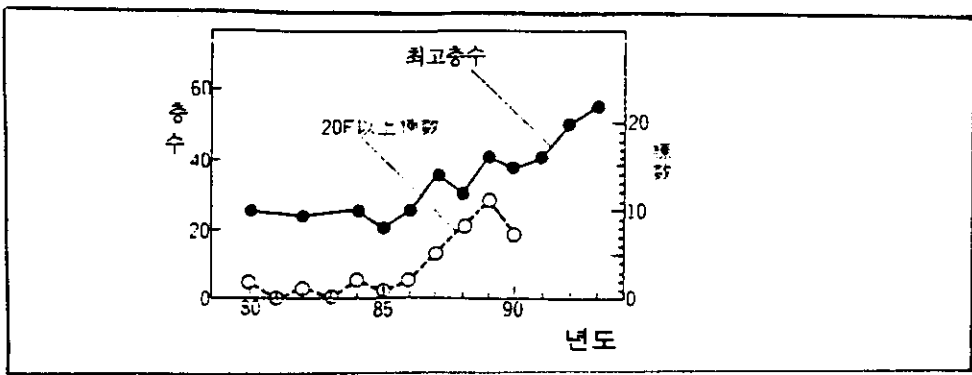


그림 17 일본의 년도별 주거용건물의 최고층수와 건설동수

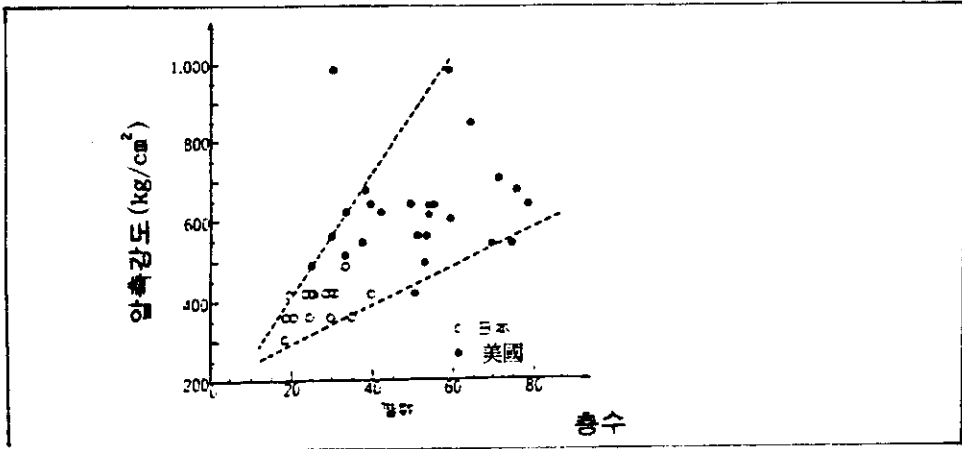


그림 18 고강도, 초고강도 콘크리트의 설계기준강도와 건물층수와의 관계

그림 19는 고강도, 초고강도 콘크리트구조(47층)에 의한 건물의 평면을 보여주는 것으로 건물좌측의 외벽부분과 건물 전면의 주기동을 압축강도  $850 \text{ kg/cm}^2$ 의 콘크리트로 그외의 부분을 압축강도  $450 \text{ kg/cm}^2$ 의 콘크리트로 시공하였다.

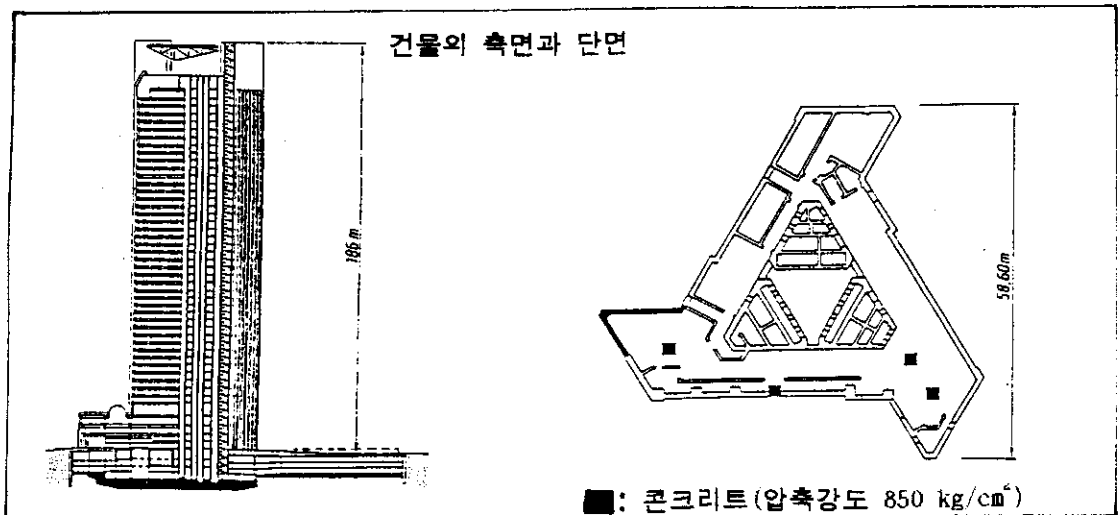


그림 19 고강도, 초고강도콘크리트를 사용한 건물의 단면

외국에서는 국내에서 사용하고 있는 콘크리트보다 4배이상의 강도와 고부가가치를 가진 콘크리트가 보편화되어있음에 비하여 국내에서의 고강도콘크리트 개발실적은 외국에 비하여 매우 뒤떨어져 있는 실정이다. 그동안 학계와 일부 건설업체에서 고강도 콘크리트에 대한 연구개발로 1990년에 분당 신시가지 고층아파트의 일부분에 시험적으로 압축강도 530 kg/cm<sup>2</sup>의 콘크리트가 일부사용된 이외에는 500 kg/cm<sup>2</sup> 이상의 콘크리트 사용 실적은 전혀 없는 실정이다. 따라서 학계, 건설업체의 연구개발과 기존법령의 개선, 설계, 시공자의 관심이 무엇보다도 요구되며 재료면에서도 국내용 시멘트의 품질개선이 이루어져야되는바 고품질의 시멘트생산도 필요하다고 하겠다.

끝으로 표3에 고강도, 초고강도콘크리트의 실현에 필요한 연구개발의 항목을 나타내었다.

| 研究開發의 重要性<br>5: 매우 重要<br>4: 重要치 않음.<br>要求品質과 研究의 關係<br>◎: 關係가 깊음<br>○: 關係가 있음<br>△: 약간 關係있음 |                | 研究開發項目     |             |            |             |             |             |             |            |            |               |            |              |            |            |            |             |              |            |            |           |            |           |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|---------------|------------|--------------|------------|------------|------------|-------------|--------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|
|                                                                                             |                | 硬化 콘크리트    |             |            | 品質管理        |             | 混和材料        |             |            | 굴지않은 콘크리트  |               |            |              |            |            |            | 耐水性·其他      |              |            |            |           |            |           |           |
|                                                                                             |                | 壓縮強度<br>特性 | 彈性係數의<br>特性 | 附着強度<br>特性 | 構造體強度<br>特性 | 骨材의<br>影響評價 | 骨材의<br>改善技術 | 品質의<br>變動性狀 | 品質管理<br>基準 | 高性能<br>減水劑 | 高性能<br>A/E減水劑 | SF利用<br>技術 | 低W/C<br>混合技術 | 粘性評價<br>技術 | 粘性低下<br>技術 | 配合設計<br>技術 | 運搬時<br>品質管理 | 슬래브下<br>抑制技術 | 鋼管壓入<br>技術 | 鋼管壓入<br>特性 | 中性化<br>特性 | 乾燥收縮<br>特性 | 耐火性<br>特性 | 遮音性<br>特性 |
| 研究開發의<br>重要度                                                                                | Fc=400~600     | 5          | 3           | 2          | 4           | 4           | 3           | 4           | 4          | 2          | 5             | 2          | 3            | 4          | 4          | 5          | 4           | 4            | 4          | 3          | 3         | 3          | 2         |           |
|                                                                                             | Fc=600~800     | 5          | 4           | 2          | 4           | 5           | 3           | 4           | 4          | 2          | 5             | 4          | 4            | 5          | 5          | 5          | 4           | 4            | 4          | 3          | 3         | 3          | 2         |           |
|                                                                                             | Fc=800~1,000   | 5          | 4           | 2          | 5           | 5           | 4           | 4           | 4          | 2          | 5             | 5          | 5            | 5          | 5          | 5          | 4           | 4            | 4          | 3          | 3         | 3          | 2         |           |
| 要求<br>品<br>質                                                                                | 力學性能의 確保       | ◎          |             |            | ○           | ○           | ○           | ○           | ○          | ○          | ○             | ○          |              |            |            | ○          | △           |              | △          |            |           |            |           |           |
|                                                                                             | 所要 壓縮強度        | ◎          |             |            | ○           | ○           | ○           | ○           | ○          | ○          | ○             | ○          |              |            |            | ○          | △           |              | △          |            |           |            |           |           |
|                                                                                             | 所要 彈性率         | ○          | ◎           |            | △           | ○           | ○           | △           | △          | △          | △             | △          |              |            |            |            |             |              | △          |            |           |            |           |           |
|                                                                                             | 所要 強度          | ○          |             |            | △           | ○           | △           |             |            | △          | △             | △          |              |            |            |            |             |              |            |            |           |            |           |           |
|                                                                                             | 所要 疲勞劣化가 없음    | △          |             | ◎          | △           | △           | △           |             |            | △          | △             | △          |              |            |            |            |             |              |            |            |           |            |           |           |
|                                                                                             | 製造時의 品質安全性     |            |             |            |             |             |             | ○           | ○          | ○          | ○             | △          | ◎            | ○          |            | ○          | △           |              |            |            |           |            |           |           |
|                                                                                             | 運搬時의 品質安全性     |            |             |            |             |             |             | ○           | ○          | ○          | ◎             | △          | △            | ○          |            | ○          | ◎           | ○            | ○          |            |           |            |           |           |
|                                                                                             | 適正한 Pump壓送性    |            |             |            |             |             |             | ○           | ○          | ○          | ○             | ○          | △            | ◎          | ○          | ○          | ○           | ○            | ◎          |            |           |            |           |           |
|                                                                                             | 所要 分離 抵抗性      |            |             |            |             |             |             |             |            | ○          | ○             | ○          | △            | ○          |            | ○          | △           |              | ○          |            |           |            |           |           |
|                                                                                             | 충진성이 良好함       |            |             |            |             |             |             |             |            | ○          | ○             | ○          | △            | ◎          | ○          | ○          | △           |              | △          | ○          |           |            |           |           |
| 耐<br>水<br>性<br>의<br>확<br>보                                                                  | 마감이 容易함        |            |             |            |             |             |             |             | ○          | ○          | ○             |            | ○            | ○          |            |            |             |              |            |            |           |            |           |           |
|                                                                                             | 養生이 容易함        |            |             |            |             |             |             | △           | △          | △          | △             |            |              |            |            | △          |             |              |            |            |           |            |           |           |
|                                                                                             | 過대한 中性化가 없음    | △          |             |            |             |             |             |             | △          | △          | △             | △          |              |            |            | ○          |             |              |            | ◎          |           |            |           |           |
|                                                                                             | 過대한 鹽化物 侵入이 없음 | △          |             |            |             |             |             |             | △          | △          | △             | △          |              |            |            | ○          |             |              |            |            |           |            |           |           |
|                                                                                             | 充分한 凍結融解 低抵抗性  |            |             |            |             |             |             |             |            | △          | △             | △          |              |            |            | ○          |             |              |            |            |           |            |           |           |
| 其<br>他                                                                                      | 適正한 耐化學藥品性     | △          |             |            |             |             |             |             |            | △          | △             | △          |              |            |            | ○          |             |              |            |            |           |            |           |           |
|                                                                                             | 過대한 乾燥收縮이 없음   | △          |             |            |             |             |             |             | △          | △          | △             | △          |              |            |            | ○          |             |              |            |            | ◎         |            |           |           |
|                                                                                             | 所要 耐火性         | △          |             |            |             |             |             |             | △          | △          | △             | △          |              |            |            | ○          |             |              |            |            |           |            | ◎         |           |
|                                                                                             | 所要 遮音性         |            |             |            |             |             |             |             |            |            |               |            |              |            |            |            |             |              |            |            |           |            | ◎         |           |

표3 고강도, 초고강도 콘크리트의 실현에 필요한 연구개발항목

- 1) American Concrete Institute Committee 363 , State-of-the-Art Report on High Strength Concrete, ACI Journal July-Aug. 1984
- 2) 한국과학기술원, 고강도, 유동화 및 섬유콘크리트의 개발과 역학적 특성에 관한 연구 (I), 과학기술처, 1988
- 3) Guy Detwiler, High Strength Silica Fume Concrete-Chicago Style, Concrete International, Oct. 1992
- 4) Markus Held, Gert Koenig, Hochfester Beton bis 125-MPa ein geeigneter Baustoff fuer hoch belastete Druckglieder, Beton und Stahlbeton Bau 87(1992) H2
- 5) 이병호 외 5인, 콘크리트 특성에 미치는 실리카 흙의 영향에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 7권4호, 1991년8월
- 6) 신성우, 고강도콘크리트를 사용한 초고층건축의 현황과 문제점, 대한건축학회지 35권1호, 1991년1월
- 7) Josef Hegger, Hochfester Beton beim Hochhaus Mainzer Landstrasse 16-28 in Frankfurt am Main, Beton und Stahlbetonbau 87(1992), H1
- 8) 김무한외 2인, 실리카흙 을 혼입한 고강도콘크리트의 개발 및 그응용에 관한 연구, 대한 건축학회지 8권5호, 1992년5월
- 9) 오병환, 고강도콘크리트 및 섬유콘크리트의 특성과 활용, 대한토목학회지 39권4호, 1991년8월
- 10) F. S. Rostasy, Baustoffe, Verlag Kohlhammer, 1983
- 11) 건축시방서개정, 한국건설기술연구원, 1992년12월
- 12) 米澤敏男, 고강도콘크리트의 실용화기술의 개발, 竹中工務店(日本) 기술연구소
- 13) 한국콘크리트학회, 최신콘크리트공학, 기문당, 1992
- 14) 최신의 콘크리트신기술, 신정보, 산업기술정보원, 1990
- 15) 양은익외 2인, 현장타설 고강도콘크리트( $f_c=500\text{kg/cm}^2$ )의 시공성연구, 대우건설기술 제4권1호, 1991
- 16) 박형규외 2인, 고강도콘크리트의 실험적연구보고서, 한신공영 기술연구보, 1992년12월
- 17) 박희민외 2인, 고성능유동화제를 사용한 고강도콘크리트의 실용화연구, 삼성종합건설 (주)기술연구소보, 1990년
- 18) 안상기, 고성능감수제를 이용한 고강도콘크리트의 기초연구, 동아건설산업 기술동아 제2호, 1990년
- 19) Ralston, M and Korman, R.: Put that in your pipe and cure it, ENR , 16, Feb., 1989
- 20) Mayer, L., Hochfester Beton im Hochhausbau, Beton und Stahlbetonbau 87/1992 H1

## 최근 연약 지반 개량공법

### 1. SUPER- JET 공법

연약지반을 보강, 개량함에 있어서 초고압 Jet 분출수를 이용하여 지반을 개량은 鹿島와 Chemical Grout의 양사가 개발한 「Column Jet」공법이 있다.

이 공법은 일본내 200m<sup>2</sup> 이상 시공실적이 있으며 또한 해외에도 45개국에 기술수출하였고 그 성능이 높게 평가되고 있다.

그러나 종래의 Column Jet Grout공법에는 직경 2m전후의 소형인 것부터 대형 고속화를 목표로한 SUPER- JET의 개발이 1987년 부터 착수하였다.

이것을 구체적으로 현실화 함에 있어서 충분한 자료 조사는 다음에 있는 것과 같다.

- (1) 대형화로 인한 JET굴착에 의한 압력, 유량에 관한 실험
- (2) 고속도로 인한 Nozzle이동 속도와 교반회전수에 관한 실험
- (3) Energy loss를 저감으로 인한 JET 분출수 조절을 위한 실험

이상의 기초 실험을 근거로하여 기기의 개발에 착수하고 이것의 연구효과를 확인하였다.

또한 각종지반에의 시공및 설계사양을 확립하기 위한 종합 실험과 전년도(1991)는 점성토 지반을 대상으로한 시공실험을 행했다. 그리고 금년(1992)에는 사질토 지반을 대상으로 시공실험을 실시하여 실용화하였다. (표1)

#### 1) 공법의 개요

SUPER- JET공법은 지상에서 직경 15cm 정도의 Super-Grout관을 건입관의 선단부 부터 시멘트 등의 고화재를 함유한 초고압 Jet를 분사하면서 주변의 토사를 굴착 충분하게 혼합 교반하여, 지중에 5m이상의 큰 시멘트고화체(개량체)를 구축하여 초대형 지반개량공법 이다. (사진1)



이공법은 「삼중관 탐재기」와 초고압.대용 사진1 굴착된 시험체 : (砂質土)

랑 ( 압력 300kgf/cm<sup>2</sup>, 유량 600l/min)을 가능하게 하는 「초고압 펌프」, 시멘트계 슬러리를 제조하는 「믹-서」, 슬라임을 처리하는 「슬라임 처리 시스템」으로 구성되어 있다.

삼중관은 압축공기용, 시멘트계 고화재용과 함께 굴착시 용수공급관이 同心 주위에 삼중구조로 되어 있다.

## 2) 공법의 종류와 특징

이 공법의 종류에는 지반개량체의 직경 5m이상에 사용되는 SUPER- JET에는 SUPER JET- 5000, SUPER JET-3500, SUPER JET-2500등이 있다. (표2)

그리고 이 공법의 특징에는 대규모 지반개량이 용이하고, 고속안정시공이 가능하며, 산업폐기물의 감소, 우수한 경제성을 들 수 있다.

공법의 상세한 특징은 다음과 같다.

- (1) 지표면으로 부터 작은 보링공으로 , 직경5m이상의 큰 개량체를 임의 지중에 확실하게 단시간에 구축한다.
  - (2) 강력한 jet분출수를 2방향에서 분사, 절삭과 충진을 동시에 행할수 있을 뿐만아니라 종래공법의 십여배 고속시공이 가능하다.
  - (3) JET 분출수에 시멘트계 고화재를 이용하여 슬라임 발생량을 최소화하고 최선의 이토 처리기술의 도입에 의한 슬라임의 감량이 가능하다.
- 또한 슬라임내의 고화재의 재생, 재이용을 고려 할 수 있다.

표1 JET GROUTING공법의 비교

| 구분                                                   | 工 法                                                      | Super Jet공법   | JSG工法        | C-JG <sup>1)</sup> | ROOM工 法      |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------|--------------|--------------------|--------------|
| 비 분사 노즐<br>NON-JET NOZZLE                            | 圧入時<br>圧力 kgf/cm <sup>2</sup><br>流量 l/min                |               |              | 400<br>70          | 400<br>100   |
|                                                      | 固 化 時<br>圧力 kgf/cm <sup>2</sup><br>流量 l/min              | 300<br>600    | 200<br>80    |                    |              |
|                                                      | 圧縮空気<br>圧力 kgf/cm <sup>2</sup><br>流量 m <sup>3</sup> /min | 7<br>6.0~10.0 | 7<br>1.5~3.0 | 7<br>1.5~3.0       | 7<br>1.5~3.0 |
|                                                      | NOZZLE개수                                                 | 2             | 1            | 1                  | 1            |
| 분 사 노즐<br>JET NOZZLE                                 | 圧入時<br>圧力 kgf/cm <sup>2</sup><br>流量 l/min                |               |              | 30<br>180          | 400<br>90    |
|                                                      | 固 化 時<br>圧力 kgf/cm <sup>2</sup><br>流量 l/min              |               |              |                    | 7<br>1.5~3.0 |
|                                                      | 圧縮空気<br>圧力 kgf/cm <sup>2</sup><br>流量 m <sup>3</sup> /min |               |              |                    |              |
|                                                      | NOZZLE개수                                                 |               |              | 1                  | 1            |
| 掘削工 Energy -"                                        |                                                          | 15            | 1            | 3                  | 6            |
| 压入状況<br>(주입관 선택 monitor부)<br>W: 물<br>C: 固化材<br>A: 空気 |                                                          | C+A<br>       | C-A<br>      | W+A<br>            | W+A<br>      |

주 1) C-JG는 Column Jet Grout 공법(Column Jet Pile공법의 상품)

2) 굴착에(1)자는 주입재의 압력과 유량으로 상징된다.

JSG공법을 기호하여 표시.

표2 Super Jet공법의 종류

| 工 法            | 改良深度     | 適用範圍                                                                                           |
|----------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Super Jet-5000 | 5.0 m 이상 | 비산공사법의 적용<br>Water Front 공작물에 의한<br>대규모 지반개량, 산성지용 기초 조성<br>비산공작물 방지<br>QED-Front에 의한 강철파일의 개량 |
| Super Jet-3500 | 3.5 m 이상 | Super Jet-5000, 2500 1/2정제된 비그루<br>사용                                                          |
| Super Jet-2500 | 2.5 m 이상 | 1층 제방, QED, C-JG의 동시시공<br>복합재 적용을 위한 C-JG의<br>4배의 속도용 사용                                       |

### 3) 시공순서

이 공법은 구조물의 지지, 지반강화 및 기존 구조물의 기초보강은 물론이고, 시공시의 안전확보를 위해 지반개량으로도 적용된다.

(1) SUPER - JET용 삼중관의 선단 노즐에서 저압( $40 - 50\text{kgf/cm}^2$ )의 굴착수를 분사, 회전하면서 직경약 15cm의 보링공을 굴착, 삼중관을 소정의 깊이까지 진입한다.

(2) 삼중관은 회전 할때 시멘트계 고화재의 초고압jetting과 압축공기를 반대 2방향에서 분사, 교반하여 개량체를 구축한다.

(3) 굴착된 흙과 주입한 슬러리로 부터된 슬라임을 삼중관의 주위의 간극으로 배출하고, 삼중관을 인발한다.

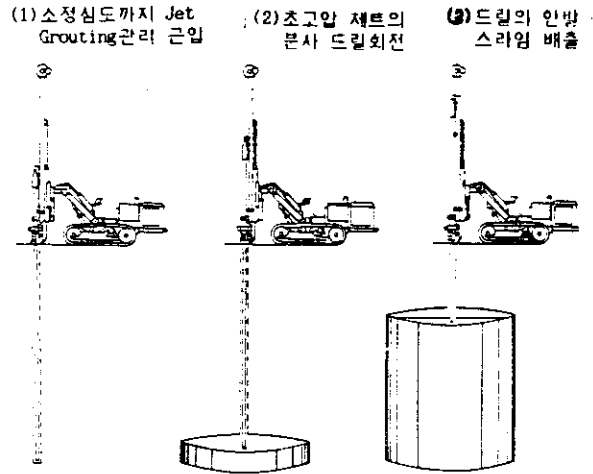


그림1 Super Jet공법의 시공순서

### 4) SUPER- JET 공법의전망

SUPER- JET 공법은 종래의 Jet Grouting공법과 비교하면

- (1) 지표면의 적은孔으로 시공
- (2) 임의의 한정으로된 깊이를 대상으로한 지반개량
- (3) 기존의 항, 지수벽, 토류벽의 간극을 충전한 형태로 시공
- (4) 대형지반 개량과 기존의 심층혼합 처리공법(기계 교반공법, Jet Grouting공법)에 비하여 능률이 우수하고, 건물 저면이상 깊이 전체의 지반개량.
- (5) 임의의 깊이에 지수벽 조성
- (6) 액상화 방지용등에 적용이 가능하다.

## 2. COMPACTION - GROUTING 공법

Compaction - Grouting공법은 이미 미국에서 개발되어 근래 어려운hard ware부분

이 급속 진보 개선된 공법이다.

현재 三信建設工業은 미국에서도 고도의 신뢰성과 시공실적을 자랑하고 있는 덴퍼 그라우팅서비스사와 기술 제휴하여 일본 및 대만에서 그 공법을 전파하였다.

### 1) 공법의 개요

Compaction - Grouting공법은 최종적으로 유동성의 고품질의 주입 재료를 지반에 주입하고 균일한 고화체를 형성하고, 주변지반을 압축하는 공법이다.

그리고 그림1에 표시된, 일본에서 사용한 주입방식과는 차이가 있다. Compaction - Grouting의 주입재료는 슬럼프 0(zero)에 가까운 비유동성의 시멘트 모르터를 사용한다.

시멘트.모래외에 약간의 礫粉을 가하여 배합을 구성하였다.

이외 될 수 있는대로 현지의 골재를 사용하는 것이 경제적이며 Local재료 고유의 성질에 의한 배합은 반응을 고려한다.

세립분은 플라이애쉬, Bentonite등으로 대체가 가능하다.

특히 이공법의 System은 기계설비와 특수주입 배합플랜트, 주입관설치 장치 ( 토층에 의한 특수(Air Auger, Boring Machine), 주입관 Lift장치, Generator, 재료투입 Wheel loader등을 구성하여야한다.

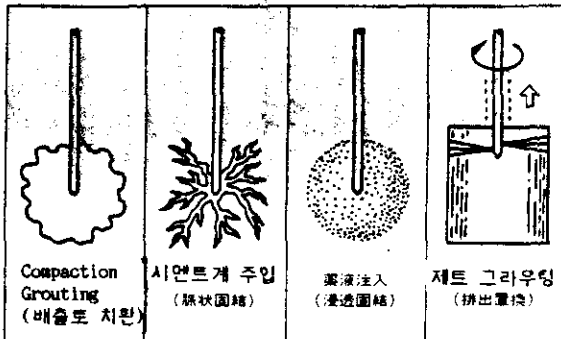


그림 1 각 주입공법의 비교

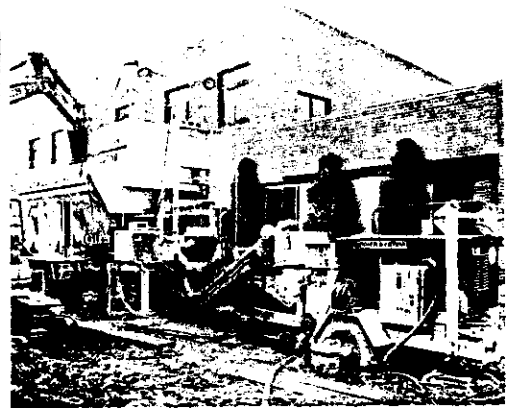


사진1 Plant전경

## 2) 공법의특징

종래의 주입공법에는 가능한한 유동성이 높은 재료를 사용하는데 대하여 이공법은 Slump 0cm에 가까운 비 유동성의 시멘트 모르터를 사용한다는 점이 근본적으로 차이가 있다.

이 공법의 특징은 아래와 같다.

(1) Slump 0cm 근처의 비유동성 재료를 사용하고, 주입재는 계획한 이외의 장소에는 분산하지는 않는다.

(2) Slump가 작은 주입재로는 강도적으로 균질한 고결체를 형성하므로 Pile등에 사용된다.

고결체의 강도는 배합에의하여  $30 - 150\text{kgf/cm}^2$  범위에 임의로 설정한다.

(3) 계획 위치에 주입하는 주입재는 주변지반을 압축하여 그밀도를 높여 지반개량을 가능하게한다.

(4) 기설구조물 주변등 지하실내 협소한 작업 장소에도 현상태를 유지하면서 지반개량을 할 수 있다.

(5) 무진동.무소음이며 시가지및 주택지등 작업에 있어서 주입재는 시멘트계로 공해문제가 없다.

(6) 침하 또는 경사 구조물을 계획적으로 보수할수 있다.



사진2 건물 가까이에 주입



사진3 注入圓結体

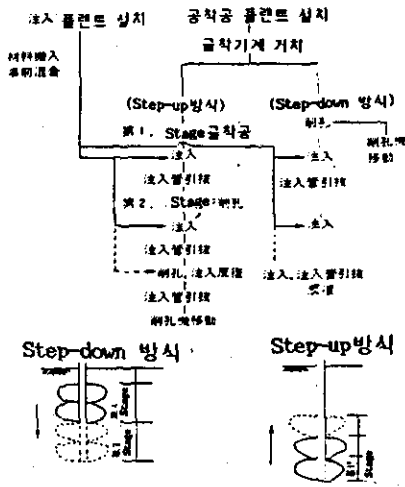


그림2 표준적인 작업순서

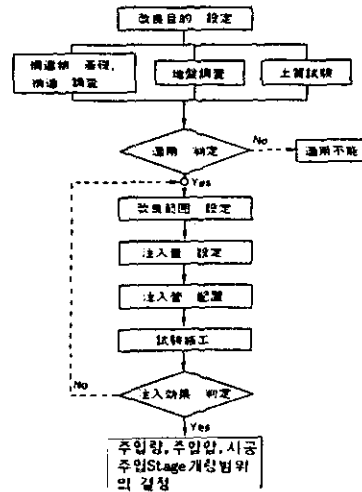


그림3 Compaction Grouting의 시공 Flow Chart

### 3) 시공순서

이공법의 시공순서는 그림2에 표시되어 있다. 이작 시공순서에는 Step Up방식과 Step Down의 2종류가 있다.

시공목적에 의해 주입공법이 결정한다. 또는 2종류의 공법을 병용하면 시공효과를 높이는 경우가 많다. 침하를 복구할때는, 계기의 수정량을 감시하면서 천천히 기다리며 위로 올리는 방법을 취한다.

또한, 구조물의 보수의 경우에는 저 기초의 구조및 지반 상황 등에 의해 대폭적인 시공계획 변경은, 충분한 조사를 행하여 계획하며 시험시공을 실시한후에 행하면 효과를 기대할 수 있다.

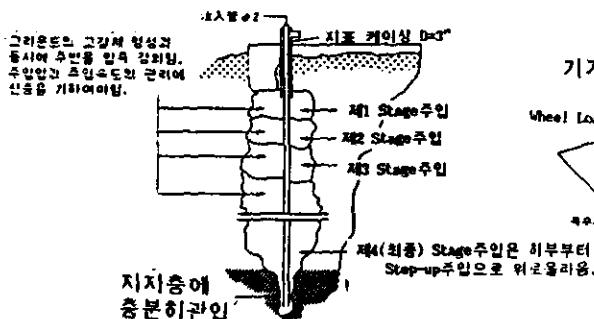


그림4 Compaction Grouting 시공 모델도

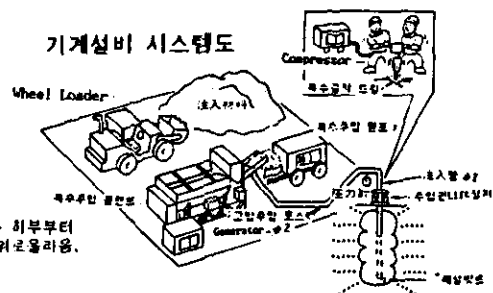


그림5 기계설비 시스템도

### 3. CORRUGATE-BOND DRAIN 공법

일본은 충적층인 토지가 많고, 세계 여러나라도 연약지반을 갖고있다. 그렇지만 국토가 좁고 경제 활동을 고려 할 때, 금후에도 해안의 매립지및 습지등의 유효이용을 도모하는 것이 중요하다. Corrugate Bond Drain 공법은 유럽에서 시작하여 일본에서 개량된 Plastic Drain공법이다.

#### 1) Corrugate Bond Drain 공법

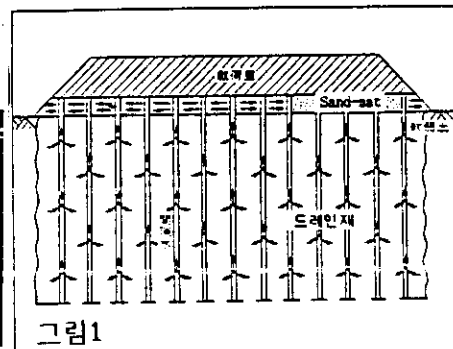
Corrugate Bond Drain공법에 의한 지반개량은 종래의 Paper Drain공법과 비슷하여 Terzaghi의 압밀이론에 기초를 둔다. 다시말하면 점성토 연약지반에 재하하면 점성토내에는 과 포화된 간극수압이 발생한다 .

서서히 Corrugate Bond Drain재를 지중에 타설하면 간극수가 Corrugate Bond Drain재를 통하여 지표면에 배출되며 ,점성토의 침하가 촉진되고 강도가 증가한다.

(그림1, 사진1) Corrugate Bond Drain은 연약지반의 개량용 드레인재에 의한 압밀속도를 촉진하며, 특히 투수성을 높인다. 또한 거친연약토랑 지반하의 압밀조건에서도 대응할 뿐아니라 길이방향의 굴곡성,유연성을 높이는 동시에 측면의 강성을 높이는 설계가 가능하다.



사진1 시공상황



Corrugate Bond 드레인공법의 원리

#### (1) Labyrinth구조의 심재

심재는 3차원 망상구조체에는 monofilament가 교차점에 열 융착하면, 매우 개방적이고 공극율이 높은 구조이다. (사진2, 그림2)

물의 이동이 용이하며 다른도랑(溝)구조의 드레인재 용도에는 토립자등에 의해 폐

쇄되지는 않는다.

또한 망상구조체의 monofilament는 폴리에스터로 되어있으며 강성을 높은 구조로 되어있다.

이것은 내압축성이크며, 유효 단면이 확보되고, 과혹한 조건하에서도 물이 용이하게 이동된다.

## (2) Corrugate Bond 피복재

폴리에스터(Polyester)제 섬유로된 多孔 不織布로 한다.

이 不織布는 공경의 폭이 넓고, 토양층의 입자를 여과하여 물에는 높은 투수성을 나타내며, 토양층의 소립자가 통과 하지 않는다(그림3)

약  $40\mu$  이상의 토립자는 不織布 表面層에 잘흐르지 않으며 중간 組織中에도 여과가 되어 높은 여과 능력을 가지고 있다.

또한 土粒子 보다도 작은 세립자는 부직포상에 흡착되고, 자연흡에 의해 여과층이 조속히 形成된다. 만약 약  $40\mu$  정도의 작은 土粒子는 부직포중에 잡히지 않아서 통과한다. 이로 인하여 부직포 細孔分布로 되어 있다면, 세립자로 인해 부직포가 폐쇄되지는 않는다(그림4)



사진 2 드레인재

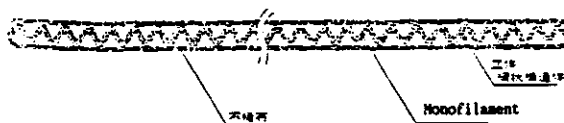
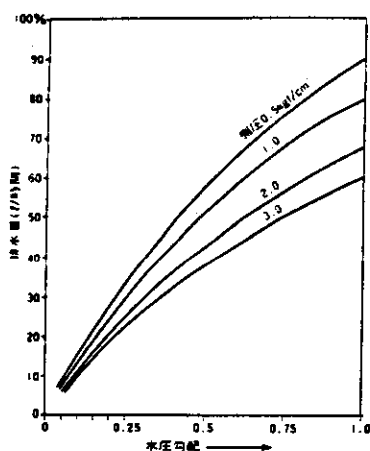
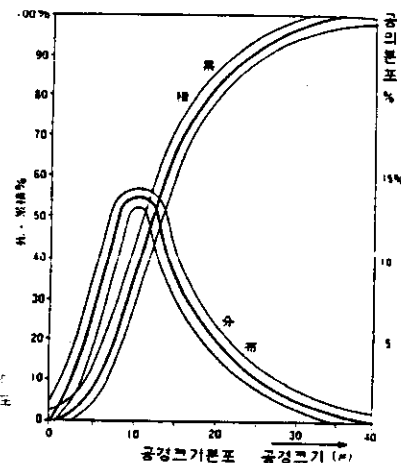


그림2 Corrugate Bond 드레인재 구조



透水率  
Corrugate Bond  
1.0  
2.0  
3.0  
水压



## 2)工法의 特徵

Corrugate Bond Drain 공법은 연약 지반상의 성토 시공 후에 발생하는 침하를 촉진하고 지반의 안정성을 조기에 확보하는 효과가 있다.

또한 동공법의 특징은 아래에 표시되어 있다.

- (1) Corrugate Bond 피복재는 눈매듬으로 되어있어 투수능력이 높다.
- (2) Labyrinth 구조재의 심재는 투수능력이 높다.
- (3) 소재로된 Polyester 는 내후성, 내화학약품성, 내 박테리아성이 높다.
- (4) 유연성이 높고, 시공이 용이 하다.
- (5) 수평이동량 및 침하량이 크고, 배수능력으로 인한 손실이 적다.
- (6) 중량이 가볍고 운반 및 취급이 용이 하다.
- (7) 드레인재는 공장 생산이므로 품질이 우수하고 안정공급이 가능하다.
- (8) 연약지반 조건에 적합하므로 시공방법으로 채움이 가능 하다.

## 3)施工順序

Corrugate Bond Drain에는 드레인재를 맨드릴을 사용하여 토중에 근입하여, 선단에 특수 Plate를 부착하여 타설한다.

또한 선단 Plate 는 맨드릴을 인발할시 드레인재가 인발되는것을 방지하는 중요한 역할을 한다(사진 3)

Corrugate Bond 드레인 공법의 시공순서는 아래와 같다.

- (1) 드레인재 선단 Plate 를 부착한다.
- (2) 드레인재를 맨드릴이 타설기로 소정의 깊이로 타설한다.
- (3) 타설후 맨드릴을 인발한다. 이때 선단 Plate 에는 토압이 작용하며, 드레인재를 지중에 남긴다.
- (4) 최종에 드레인재를 절단하고 이작업을 반복적으로 작업을 행한다.

이공법의 용도는 해안의 매립지 Silt 이하 미세립자를 함유하고 있는 연약지반이나 부식 물을 함유하고 있는 지반을 개량한다. 또한 드레인재의 타설심도, 타설수량,타설회수 및 드레인재의 송출회전등을 운전석에서 자동계측이 가능하다.

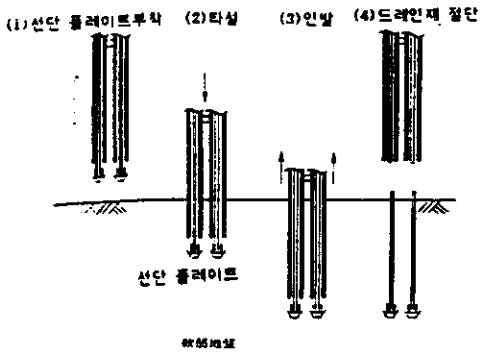


그림5 타설순서

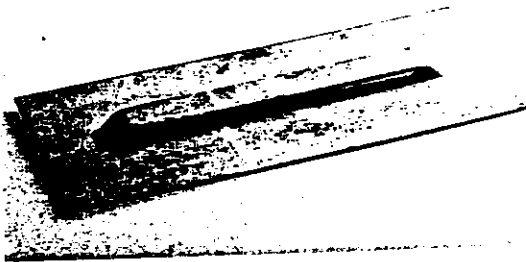


사진3 선단 Plate

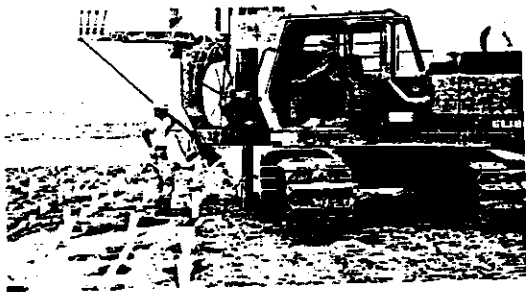


사진4 시공상황

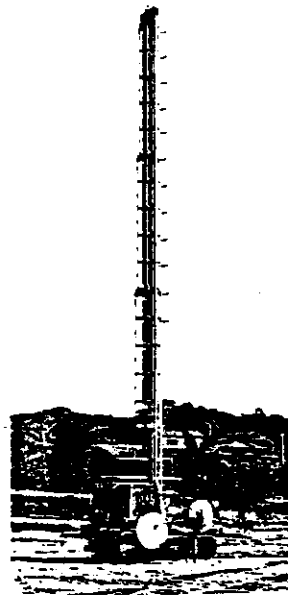


사진5 유압관입식

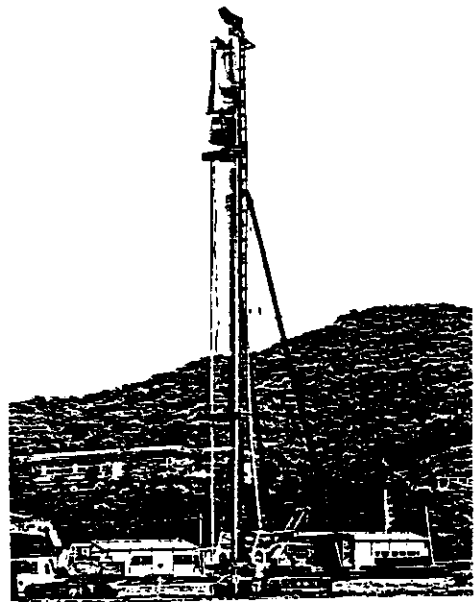


사진6 진동 관입식

#### 4. CS Drain 공법

Plastic Drain 공법을 그적용성 및 경제성이 좋아 현재 넓게 이용되고 있으며 지반개량 공법의 하나이다.

이 공법은 연약지반에 Drain 재를 타설 성토 하중을 가하여 지반 압밀을 촉진시켜 토층의 물을 배제하여 지반을 개량하는 공법이다. 이 공법의 시공에 관해서는 개발당시 문제점이 지적되었다.

그 첫째는 Drain 재의 올라오는 현상의 발생 및 파단의 방지가 있다.

첫째는 소정의 심도에서의 남아 있는 상황의 파악하는데 있다.

여기에서 시공관리상의 문제가 있어서 그해결 방법을 초기부터 요구하였다.

이것은 배경부터 Drain 재의 지중 잔류상황을 정확하게 검지하고 Plastic Drain 공법의 시공에 대해서는 올라옴(뜸)등의 이상을 Monitoring로 부터 시공에 이르는 새로운 시공 관리 System CS Drain 공법 (Plastic Drain 공법 시공관리 System ) 이 개발되었다.

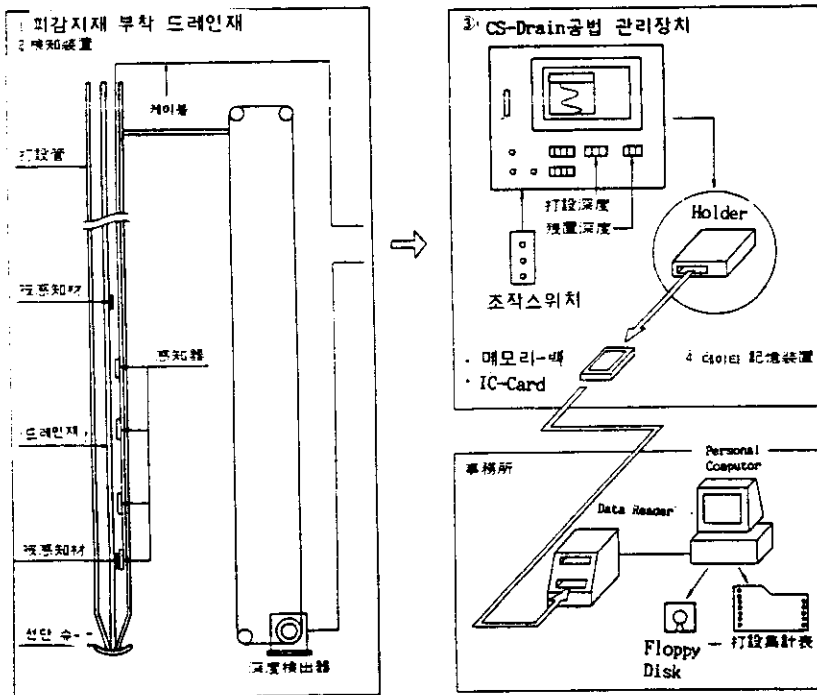


그림1 CS Drain공법 System도

## 1)공법의 概要

CS Drain 공법을 피 감지재가 부착된 드레인재, 감지기(sensor) 지상부의 관리 장치에서 구성되어 있다.

타설관의 선단부에 Sensor 를, 보통 드레인재에 특수 금속의 피감지재를 각 내장하고,소정의 심도에 타입한 후, 타설관의 인발시에 sensor 에 의해 피 감지재가 부착된 Drain 재의 위치 설치 상황을 검지한다. 그리고 그 결과를 기록용지에 표시한다.

또한 관리장치에는 Data 기억장치를 내장되어 사무소의 computer 에 작동에 의하여 신속하게 일일 집계된다.(잔류치 심도 기록 방식)

## 2)공법의 特徴

CS Drain공법 (시공관리 System)은 피감지재가 부착된 Drain재 선단부의 감지기 및 타설관의 심도 검출기에서의 검지장치, CS Drain 공법관리 장치 등의 장치로 구성 되어 있다. CS Drain 공법 관리장치는 타설기에 탑재되었고, 시공 할시 운전자는 기계를 운전하며 장치를 감시한다.

또한 기록계에는 지중 타설관의 심도와 Drain재의 잔류치 심도는 Reral Time 에 표시되며 즉각 같이 올라옴(뜸)의 이상 발생장소를 조작자가 판별한다.

또한 동공법(시공관리 System) 이 특징은 아래와 같다.

- (1) 타설관의 선단부에 내장된 감지기에 의한 지중에 있는 drain 재의 잔류심도를정확하게 파악한다.
- (2) Drain재의 같이올라오는량과 그 발생심도는 기록지상에 표시 그래프로 부터 간단하게 알 수 있다.
- (3) Drain재는 파단및 같이올라올 경우 경보신호로 부터 정보는 얻을수 있고 즉시 수정시공을 할수 있다
- (4) Drain재의 지중 잔류심도,타설 수량등 타설 시간이 즉시 기록되며 조성 공정의 시공관리를 용이하게 할 수있다.
- (5) Memory - bag을 사용한 데이터 기록장치를 이용하여 타설 집계표(타설자료)를 정확, 신속하게 알 수있다.

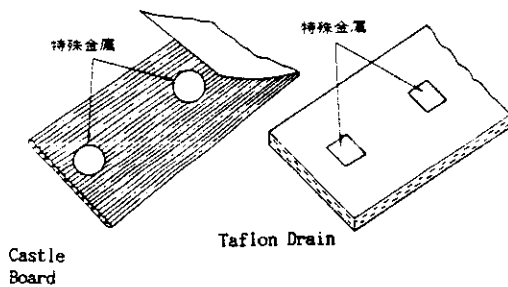


그림2 피감지재가 부착된 드레인



사진1 타설기내의 관리장치

### 3)시공순서

동 공법에 의한 시공은 피감지재가 부착된 Drain재를 타설관과 함께 소정 심도에 타설근 입, 타설관을 인발시에 그 선단부의 감지기에 있어 타설관을 통과하는 피 감지재의 위치 등 수를 감지하고 drain의 지중잔류 심도를 파악한다.

시공순서는 아래와 같다(그림4)

- (1) 타설기를 소정의 위치에 Setting한다
  - (2) 선단 슈를 부착하고 피감지재의 위치를 Setting한다.
  - (3) 타설관과 함께 드레인 재를 지중에 타입한다.
  - (4) 소정의 심도까지 타입이 완료되면 타설관을 인발하고, 그때 시공 관리 System에 의한 드레인재가 지중에 정확하게 잔류하고 있는지 확인한다.
- 또한 같이 올라오는현상이 검지될 시에는 즉시 再 타설을 행하여 수정 시공을 실시한다.
- (5) 다음 타설지점으로 이동한다.

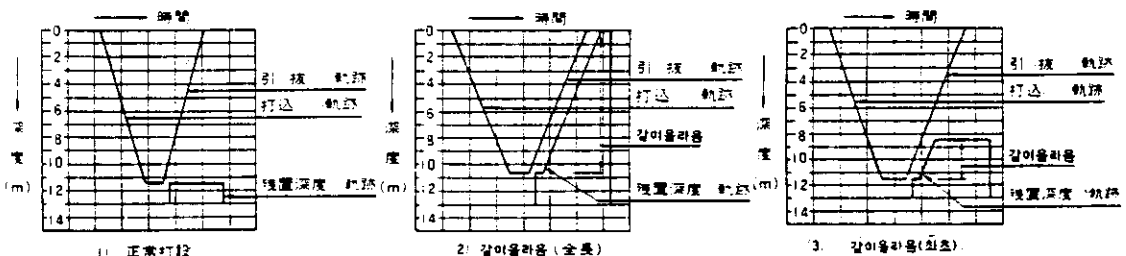


그림3 시공기록예

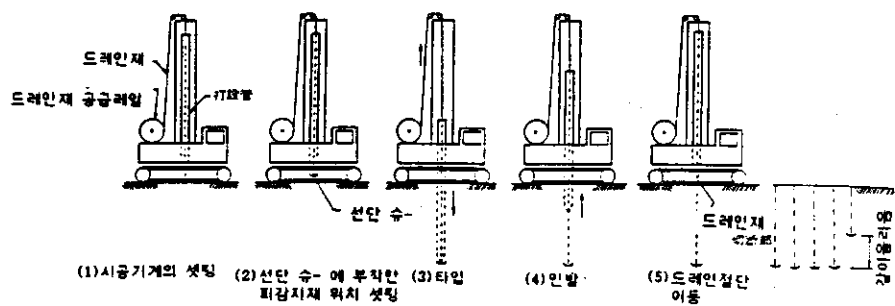


그림4 시공관리 시스템에 의한 Plastic Drain의 시공순서

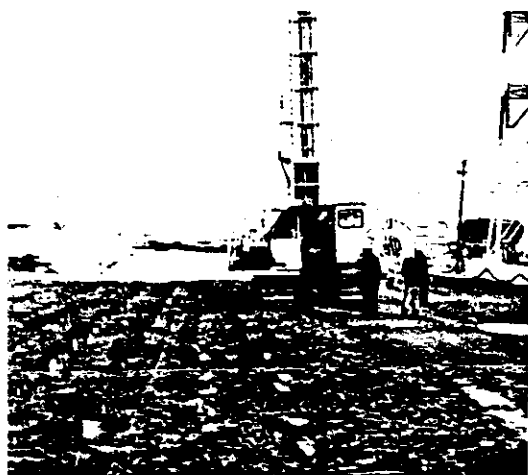


사진2 시공상황

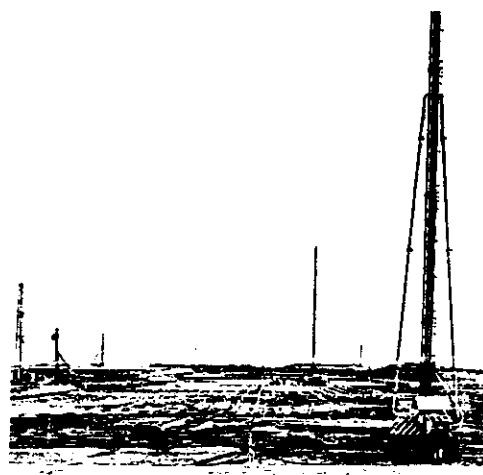


사진3 시공상황

## 5. 粉體 噴射 교반공법 (DJM)

종래부터 연약토에는 개량재를 혼합하여 토질 안정 처리를 행하는 공법이 있었고 또한 노상및 노반등의 표층을 안정처리하는 공법은 종래에 행하여져 왔다.

이에 대하여 심층지반 개량공법은 운수성 항만 기술연구소에서는 석회에 의한 심층혼합 처리공법(DLM)을 개발하였으나 재료의 지반내의 안정 공급에 문제로 시멘트계 개량재를 슬러리 형태로 연약지반에 교반하여 고결하는 공법(CDM)으로 변경하여 현재 많은 실적을 보유하고 있는 공법이다.

보통 분체 분사 교반공법(Dry Jet-Mixing, DJM공법)은 건설성종합 기술개발 프로젝트『신 지반 개량 기술의 개발』의 일환으로 건설성 토목 기술연구소와 일본 건설 기계화 협회가 중심으로 개발한 기술을 기초하여 실용화로 된 것으로서 심층 혼합 처리공법(DMM)의 하나이다.

### 1) 공법의 개요

DJM공법은 연약지반의 중간에 粉粒體의 개량재를 공급, 강제적으로 원위치흡과 교반 혼합하여서 흡과 개량재를 화학적으로 반응하여, 토질

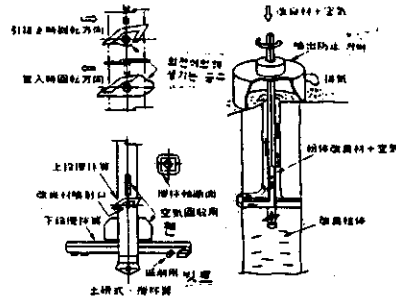


그림1 흙중에 있어서의 개량재 분사구조



사진2 DJM 改良柱體두부



사진3 교반기(土研式)



사진1 DJM 改良柱體

성상을 안정하게 하고 강도를 높이는 공법이다.

DJM공법의 개량재는 시멘트계 개량재및 석회 이외의 돌및 슬래그등도 사용이 가능하다.

이것 이외의 개량재에는 석탄회및 하수오니,소각회의 적용도 고려 할 수있다.

그러나 시공실적에는 시멘트계 개량재가 다수 사용되고, 토질조건이 적당 할 경우에는 석회도 사용한다

이것의 개량재는 공기流에 의해 운송되고,교반날개에 부착된 根部로부터 날개의 회전에 의해 생기는 공극부로 토출된다.

다음에 토출되는 개량재는 교반날개의 회전으로 인하여 회전궤적의 전체에 균등하게 분산되고,또한 원위치흙과 교반혼합한다.

그래서 개량재와 분리된 공기는 교반축에 연하여 축과 흙의 공극으로부터 지표로 방출 된다.

## 2) 공법의 특징

(1) 토질의 성상과 개량 목적에 의해 필요 강도에 부응해서, 분립체의 개량재와 혼합비를 자유로이 선택한다.

또한 사전에 혼합 할때에는 2종류이상의 재료를 동시에 사용하여야한다.

이것은 개량체로서 그 최대경이 5mm정도 이하이고 건조상태의 분립체에 있어서도 어떤 종류의 재료에도 사용이 가능 하다.

(2) 개량체의 Dry에 있어서는 원리부터 함수비가 높아 문제가 있는 지반중에 여분의 수분을 가하지 않고 개량체를 혼입하여도 지반중의 함수비를 상대적으로 저하시킬수 있다.

(3) DJM공법은 철도및 기존설치된 건물에 대하여 근접시공이 가능하다.

(4) 개량재는 교반 날개궤적 전면에 균등하게 살포되며 교반효율이 좋고,적은 회전수로도 심분 혼합효과를 얻을 수 있다.

(5) 다른공법과 비교하면 개량재의 종류와 양의선택이 자유롭기때문에 ,저강도로 부터 고강도에 이르기 까지 개량의 강도를 임의로 설정할 수 있다.

(6) 개량재가 Dry함에 있어 강도의 발현과 신장률이 높다.

(7) 시공에 있어서는 물을 전혀 사용하지 않으므로 시공 장소의 조건에 좌우되며 泥排水 처리도 불필요하며, 시공현장을 좋게 보존 할 수 있다.

(8) 개량재의 운송에는 밀폐형 System을 사용함으로써 분진등 공해가 없고 우천시에도

사용이 가능하다.

(9) 시공심도, 교반 날개 회전수 개량제의 공급량등이 자동기록이 가능하므로써 그 제어도 Micro-computer 조합이 용이하기 때문에 신뢰도도 높은 시공관리가 가능하다.

### 3) 시공순서

DJM공법은 기본적인 시공 순서는 그림3에 표시되어 있고 지반 조건에 따라서는 관입시에 개량제의 일부 및 전부가 분사 되는 경우도 있다.

DJM공법에는 다른 심층 혼합처리 공법과 동일하며, 재품을 직접 눈으로 보기 때문에 시공 불가능이 없고 시공 관리는 계측에 의한 관리로 행한다.

실제는 Micro-computer에 의한 자동 제어가 가능하며 각 계측 항목이 자동적으로 기록 된다. 현재 DJM공법은 하드웨어에 있어서는 심층혼합 처리 공법의 한가지로 정착되어 있다. 따라서 심층 혼합 처리공법의 공통은 개량토에 대하여 소프트웨어에서는 작은 문제점이 있어 그 문제를 해결하는 다른공법 보다는 DJM공법이 우수한 특성을 가지고 있으며, 장래성이 있는 공법이다.

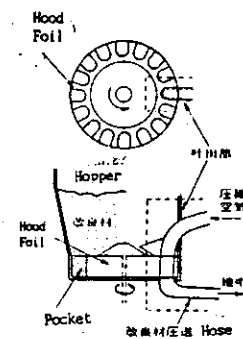


그림2 개량재 공급기의 구조

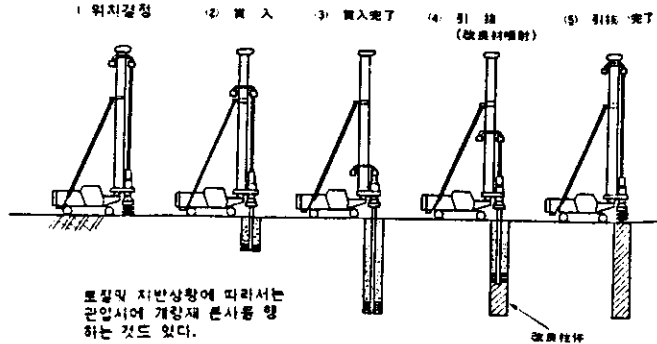


그림3 시공순서(인발시 吐出일 경우)

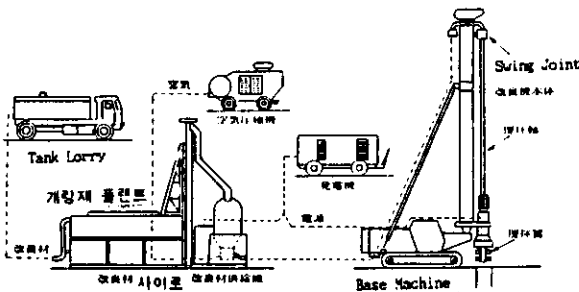


그림4 DJM공법 시공 System

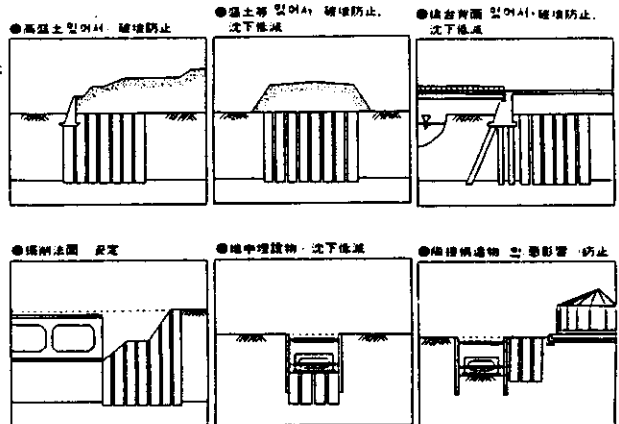


그림5 적용용도

## 6. 심층혼합처리공법(CDM공법)

연약지반 대책공법은 옛날부터 치환, 깔기, 건어내기 및 단계 재하 공법등 경험적으로 이용 되었다. 1950년대 이후 구미로부터 기술도입하여, 개량, 개선기술을 독자적으로 기술 개발하여 많은 연약 지반 개량공법에 활용하였고, 세분된 수십종이 현재있다.

또한 점성토의 석회를 혼합하여 흙을 고결시키는 것은 토립자간 다짐 및 삼축토 같은 것에서도 경험에 의하여 알 수 있다. 1955년에는 도로성토 재료의 개량 및 철도의 노상의 토립자 분출 방지에 석회를 사용하여 표층 혼합 처리공법에 이용하는 것이 일반에 보급되었고 1970년대는 비교적 새로운 시공법이 생겼다. 항만지역의 연약지반 점성토를 심층까지 화학적 안정재를 공급부터 교반날개를 강제적인 혼합하는 소위 심층안정처리공법 개발, 연구는 운수성 항만 기술소에서 생석회 및 소석회를 안정재로 사용하는 것이 시작되었다.

그리고 1967년부터 모형실험을 행하였고 1974년에는 DLM공법 (Deep Lime Mixing Method)이 실용화 하였다.

표1 주요 연약지반 대책공법의 발전과정

| 改良原理      | 工學的方法       | 工 法 例                  | 實 用 時 期 |        |        |        |        |        |        |
|-----------|-------------|------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|           |             |                        | 1930年代  | 1940年代 | 1950年代 | 1960年代 | 1970年代 | 1980年代 | 1990年代 |
| 重 質       | 灌漿置換        | 灌漿置換工法                 |         |        |        |        |        |        |        |
|           | 強壓置換        | 強壓置換工法                 |         |        |        | 1956   |        |        |        |
| 排水        | 自然圧密        | Pre-loading工法          | 1929    |        |        |        |        |        |        |
|           | 加圧排水        | Sand Drain工法           |         |        | 1952   |        |        |        |        |
|           |             | 板狀 Sand Drain工法        |         |        |        | 1967   |        |        |        |
|           |             | Board Drain工法          |         |        |        | 1963   |        |        |        |
|           | 真空排水        | Deep Well工法            |         | 1944   |        |        |        |        |        |
|           |             | Well Point工法           |         |        | 1961   |        |        |        |        |
|           | 化学的排水       | 大気圧成膜工法                |         |        |        |        | 1971   |        |        |
| 固 結       | 生石灰 Pile 工法 |                        |         |        |        | 1963   |        |        |        |
|           | 排水・締固       | Shot Compaction Pile工法 |         |        |        | 1957   |        |        |        |
|           | 締固          | 砕石・砂利機工法               |         |        |        | 1965   |        |        |        |
|           |             | Vibro Floation工法       |         |        | 1955   |        |        |        |        |
| 固 結       | 振動締固        |                        |         |        |        |        | 1973   |        |        |
|           | 新築締固        | 加圧密工法                  |         |        |        |        | 1972   |        |        |
|           | 開拌混合        | 表層混合処理工法               |         |        |        |        | 1974   |        |        |
| 固 結       | 表層混合        | 表層混合処理工法               |         |        |        |        |        | 1981   |        |
|           | 噴射混合        | 噴射開拌工法                 |         |        |        |        |        |        |        |
|           | 褥層分層        | 부실 침상工法                |         |        |        |        |        |        |        |
|           |             | Sheet Mat工法            |         |        |        | 1962   |        |        |        |
|           |             | Sand Mat工法             |         |        |        |        | 1970   |        |        |
| 褥層 Blance | 褥層 Blance   | 褥層 Blance工法            |         |        |        |        |        |        |        |

表2 深層混合処理工法 開発年表

| 工法分類              | 安定材供給方法       | 安定材種類     | 工法名 | 開 発 年 代 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|---------------|-----------|-----|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                   |               |           |     | 1972    | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 |
| 石灰系<br>表層混合処理     | Screw Feeder  | 塊状生石灰     | DLM | 1967    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                   | 空気搬送          | 塊石灰・セメント粉 | DJM |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Cement系<br>表層混合処理 | Slurry Pump混合 | Cement    | CDM |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

注) ..... 研究開発段階 ..... 実用化段階

그리고 CDM공법(Cement Deep Mix Method)은 1973년부터 상기의 기술 Base안정제인 Cement Slurry (Cement Mortar)를 사용하여 실내모형실험, 육상 시험공사, 해상 시험공사를 행하여 1975년에 실용화 하였고 지금은 육상, 해상에 다수의 공사 실적을 보유 하고 있다.

심층 혼합 처리공법의 특징은 다음과 같다.

- (1) 대상지반의 토성에 반응하는 안정제및 그 사용량을 변화시켜서 소요의 강도로 개량된다.
- (2) 단기간에 소요강도를 얻을수 있다.
- (3) 저소음, 저진동공법이며 발생잔토가 적고 저공해공법이다.
- (4) 개량체는 압축성이 개선되고, 재하중에 의한 변형이 적게된다.

또한 심층 혼합 처리공법에는 표3에 표시되어 있는 기계 교반식과 고압 분사식이 있고 표 4에 표시된 여러공법이 제안 개발되어 있다.

여기에 소개한 CDM공법도 기계교반식 Slurry계의 심층혼합처리공법에 포함되어 있다.

## 1) 공법의 概要

CDM공법은 시멘트계 고화제의 슬러리, 그 다음은 모르터와 연약 지반을 혼합 처리기를 이용 교반하여 원위치에서 소정의 고화 강도를 얻을수 있는 공법이다.

고화에는 2종류의 반응이 일어나고 그것은 시멘트계 고화제와 침상결정의 에트링 게이트(Ettringite)가 생성되고 2차는 재령이 증가하면서 수화생성물이 점토 광물과 Pozzolan 반응을 일으켜 판상 결정이 많이 생기는 것을 알수 있다.(그림1)

## 2) 공법의 特徴

CDM공법은 적용 지반 범위가 넓고, 효과로는 침하량이 적고, 안정에 필요한 지반 강도를 얻을 수 있고 또한 약상화 방지 대책, 지수대책에 있어서도 유효한 공법이다.

그리고 CDM공법의 특징은 다음과 같다.

- (1) 개량 대상토의 토립조건에 적용시 고화제 배합물에 의한 소요 강도가 확실히 얻을 수 있다.(그림2)
- (2) 시멘트 고화제의 사용에 의한 조기에 강도가 발현하는 것과 압밀 기간이 불 필요하여 공기를 대폭 줄일 수 있다.
- (3) 개량토의 강도가 크고, 압밀 침하가 발생하지 않는다.
- (4) 연약지반을 그 위치에서 고화하고, 해수오탁의 2차 공해가 발생치 않고, 또한 저공해,

저소음이고 기존구조물에 영향을 발생치 않는다.

(5) 굴착교반이 크고, 중간의 비교적 경질지층도 용이하게 관통 할수 있고, 지지층에 정착이 가능하며, 모든 타입의 기초에 개량 할수 있다.

(6) Slurry유량, 개량 심도, 회전수, 위치를 나타낼 수 있도록, Slurry Plant의 관리에 있어서 집중 Control에 의하여 일관되게 시공관리가 가능하다.

(7) 종래 공법에 있는 대량의 모래 사용하지 않고, 연약 지반을 고화 활용에 의한 자원화가 가능하다.

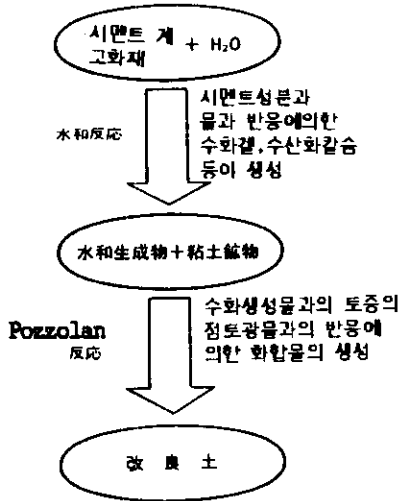
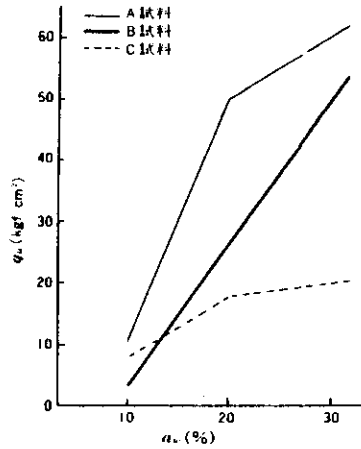


그림1 고화원리 계통도

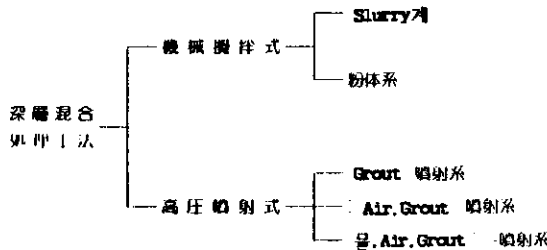


\*a<sub>w</sub>는 시멘트 첨가율 
$$a_w = \frac{\text{시멘트의 중량}}{\text{혼합전토중량}} \times 100\%$$

\*室内配合試驗結果

그림2 시멘트첨가량과 강도(재령4주)

表 3 深層混合處理工法 種類



### 3) 시공

CDM공법은

- ① 신축 Shaft 개발등 계속 시공방법의 확립에 의한 대심도에 대응 할수 있다.
- ② 번위관충공법및 배토식공법의 채용으로,주변의 영향을 적게하는 신기술을 확립 할 수 있다.

#### (1) 안정재 토출

CDM공법에는 일반적으로 시멘트 슬러리를 사용한다.

육상시공에는 처리기를 관입하는 것부터 관입속도에 대응하여 슬러리 토출량을 제어,계량 심도마다 소정의 슬러리첨가량을 조정시공하는 것이 중요하다.(그림4)

#### (2) 교반축 연결시공

CDM공법에는 일반적으로 관입량 이상의 교반축 길이를 유지하는 처리기등 그것을 유지하는 Base-Machine을 사용하며,시공기의 높이는 대부분 관입장이 10m정도의 높이이다.

이것에 대해서는

- ① 높이제한에 의한 장소에도 시공이 가능하고
- ② 시공기의 안정을 높이고
- ③ 또한 소형의 Base Machine을 사용한다.

이러한 요구에 부응하기 위해서는 교반축을 연결 할 때는 탑높이를 낮게 억제하는 시공기가 있다.

(탑 높이 :관입장 +0 - 5m)

이 시공기는 Rod-Joint방식과 신축 Shaft방식이 있고 그 각기 시공 방법의 개요는 그림 5,6에 표시되어 있다.

#### (3) 新 시공 관리 시스템

CDM공법의 신 시공 관리시스템은 품질과 완성상태를 대상으로 관리하는

- ① 플랜트 관리 시스템
- ② 혼합처리 시스템으로 구성되어 있다.

플랜트 관리시스템은 종래의 발취 검사방식에서는 없는 전 배치의 각 재료의 계량 결과를 자동 기록 인지에 의한 방식이다. 혼합처리 시스템은 시공관리 향상과 시공 결과의 판정, 평가를 명확하게 하고 즉시 행할수 있는 장비로 되어 있다.(그림7,8)

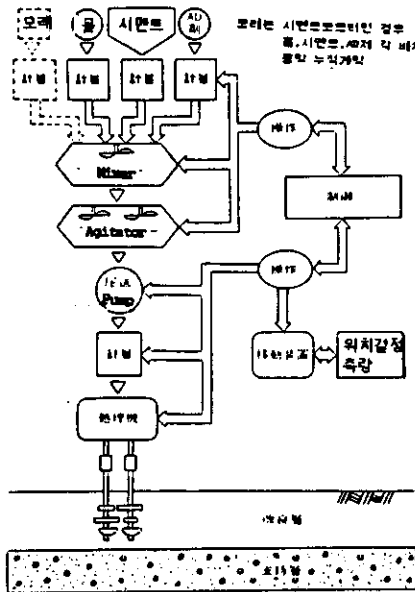
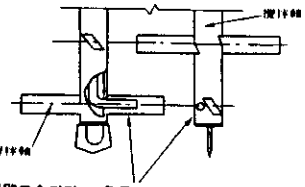
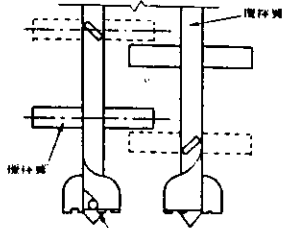


그림3 CDM공법의 시공

部位動機 System Slurry  
Plant제어기기, 시공관리  
기기에 집중 콘트롤 시스템  
을 갖춘 전용 해상시공기계,  
무상시공기계를 제작한다.



시멘트슬러리 보틀구  
시멘트 슬러리 타입(1)



타입(2) 선단비트 부착

그림4 시멘트 슬러리  
도출위치

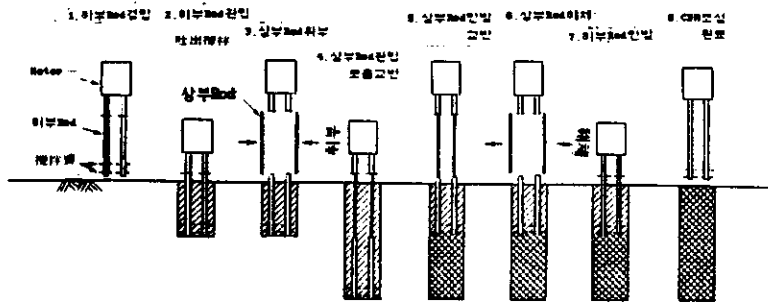


그림5 Rod Joint 방식에 의한 시공

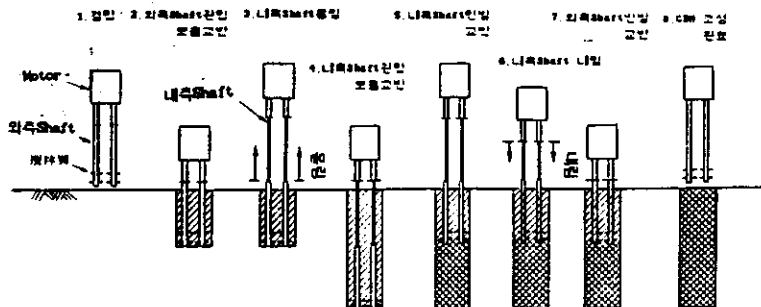


그림6 신축Shaft에 의한 방법

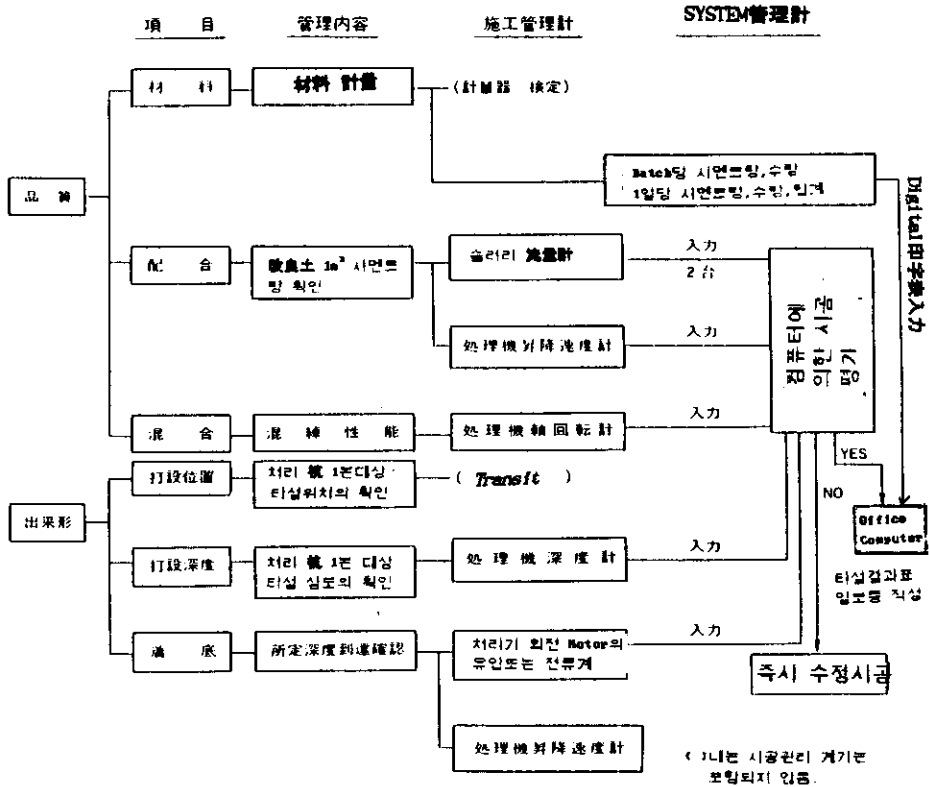
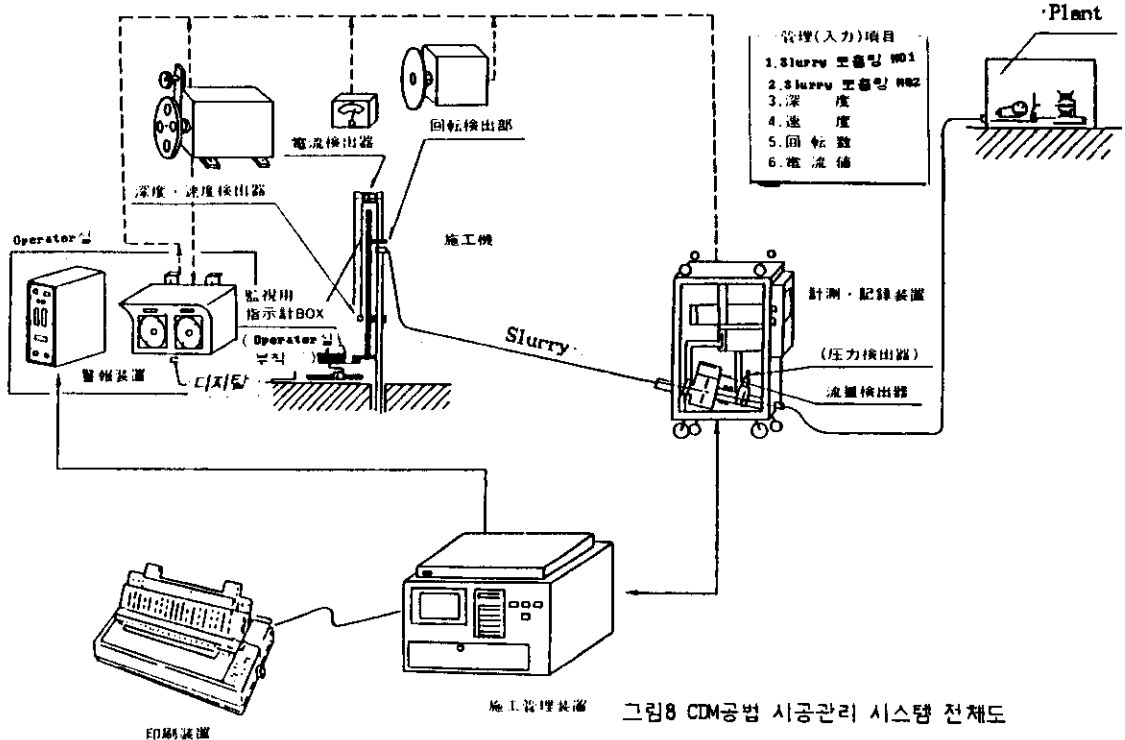


그림7 CDM 공법 시공관리도



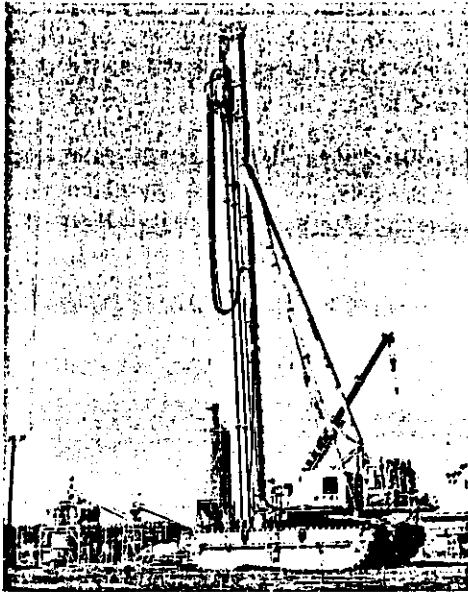
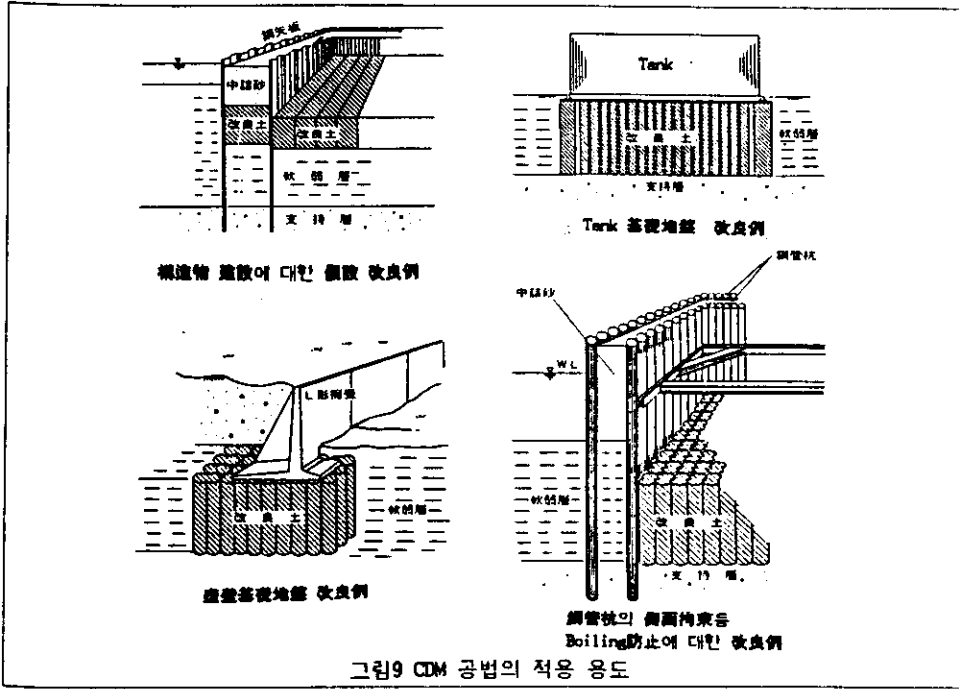


사진1 육상 시공기계 (Photo 1: Land Construction Machine)

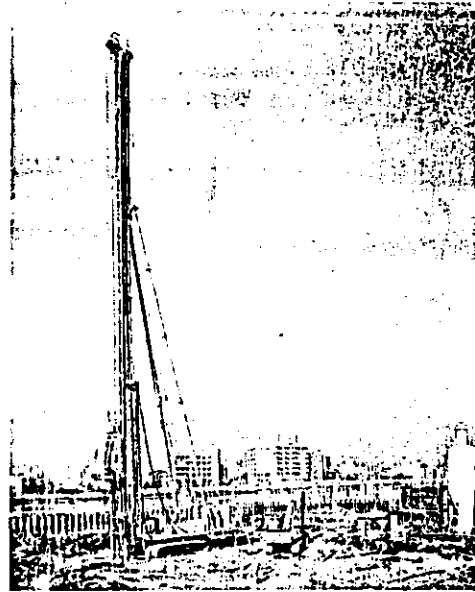


사진2 육상 長尺시공기계 (Photo 2: Land Long-rod Construction Machine)

## 7. MINI COMPOZER 공법

액상화 방지 대책공법에는 Sand Compaction Pile 공법이 있다.

Sand Compaction Pile은 연약 지반에 모래를 압입하여 대구경의 모래 말뚝을 조성하여서, 지반의 강화,안정을 도모하는 공법이다. 특징으로는 동일한 시공법으로 사질토및 점성토 지반 모두에 적용되며 해상 시공도 가능하다.

Sand Compaction Pile공법은 시공 방법에 대해 구분하면 ① 충격식(퍼커션) ② 진동식(Vibro Composer공법)의 2종류가 있다.

충격식은 지중에 타입된 중공관의 선단부로 부터 압출 되는 모래를 충격에 의해 다지는 방법이다. 이것에 대하여 진동식은, 중공관에 가한 진동에 의해 다짐을 하는 방법이다.

### 1) 공법의 개요

지금까지 Sand Compaction Pile공법의 실적 대부분은 진동식이 점하고 있다고 하여도 과언이 아니다.

Sand Compaction Pile공법은 가장 확실한 액상화 방지 대책 공법으로 다용도로 사용되고 있고, 시공상의 문제가 없었던 것은 아니다.

기설 구조물의 근접한 장소및 시가지등에 있어서는 진동,소음등이 가해져 지반 변위등의 문제가 있어 그 대응 방안이 요구 되었다.

不動建設은 이 문제를 해결함에 있어, 시공 환경대책으로서 지반 변위및 진동,소음의 저감을 도모하고 근접시공이 가능한 Mini Composer공법을 개발하였다.

여기서는 기 설치된 구조물에 근접한 장소및 시가지등의 시공을 가능하게 하는 Mini Composer공법을 소개한다.

### 2) 공법의 특징

Mini Composer공법은 시공으로 발생되는 지반 변위의 저감을 도모하고, 기존 구조물에 근접한 장소에 시공하여 締固하는 공법이다. 시가지등에도 적용도 가능한 공법이다.

그의 특징은 아래와 같다.

(1) 종래의 Casing Pipe의 구경은 D400 - D500mm를 표준으로 하는데 비해, D200mm를 표준으로 하여 관입 저항을 적게하고, 진동,소음의 저감을 도모한다.

또한 관입에 의한 원지반 흙을 주변 압축및 중량을 감소시켜 지반의 변위량및 영향을 최소로 하였다

(2) 재래의 저주파 Virbo Hammer없는 고주파 Virbo Hammer를 사용하여, Virbo Hammer의 충격진동.소음의 저감을 도모하여서, 경량화를 시도하였다.

(3) Casing Pipe의 관입이 곤란한 경우, 필요에 따라 Water Jet를 사용하여 관입을 용이하게 하고 지반변위및 충격진동을 저감하였다.

(4) 재래의 모래말뚝의 표준은 D700mm이나, 이 공법은 D350mm - 450mm를 표준으로 하며 모래말뚝의 締固.확경시 충격 진동의 저감을 도모하고, 확경에 의해 주변 지반 締固시 발생하는 지반의 측방변위의 영향범위를 최소화하였다.

(5) 모래말뚝의 Pitch와 개량 사양의 결정은 재래식 공법과 동일설계법에 의해 행하며 설 개량효과를 확보하는 최종 개량 사양은 원칙적으로 현지 시험 시공에 의해 결정되어야 한다.

### 3) 공법의 적응성

시공 기계구성은 그림1에 표시되어 있다.

또한 시공 방법은 그림 2에 표시된 종래 Sand Compaction Pile 공법과 동일한 시공법으로 한다. 시공의 적응성은 다음과 같다.

(1) 규제치를 소음 규제치 85dB, 진동 규제치 75dB로 하면 대략 10-20m 정도 근접 하여 시공이 가능하다.

(2) 지반 변위의 문제에 대한 시공 조건에는 대략 3m까지 근접 시공이 가능하다.

(3) 대상 지반은 육상지반 N치 15이하의 사질토 지반이다.

(4) 시공가능 심도는, N치 15이하의 사질토 지반에 있어서 대략 10m-20m이다.

### 4) 지반 개량의 효과

Mini Compozer-공법으로 할경우에는 締固효과및 소음.진동저감효과, 지반변위 저감효과에 대하여 소개한다.

이 사례에 대한 제원은 고주파 Vibro 주파수 25Hz, 기진력 25t, Casing D200mm를 사용하며 모래 말뚝 D350mm, Pile 간격 1.1m, 타설심도 10m의 사양이다

#### (1) 締固의 효과

사전에 얻어진 원 지반의 N치와 개량 후 모래말뚝간의 N치를 비교하면, 세립분 함유가 20% 이하의 지반에는 원지반 N치 4 -8에 대하여 개량후 모래 말뚝간에 N치가 10 - 20으로 증가하고 締固의 효과를 얻을 수 있다. (GL -5m부근)

### (2) 진동, 소음 저감효과

시공중의 진동, 소음을 측정한 사례는, 재래의 공법(저주파 Virbo Casing D400mm, 모래 말뚝 D 700mm)과 비교는 그림 3, 4에 표시. 재래식공법에 비하면, 진동, 소음은 약10dB 저감되었다.

또한 진동 규제치 75dB, 소음 규제치 85dB을 만족하고 타설지역 거리는, 약 10m - 20m정도이다

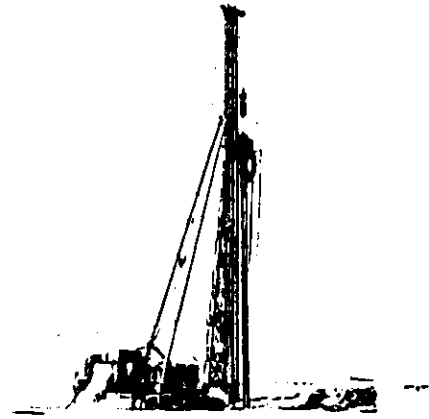


사진1 시공상황

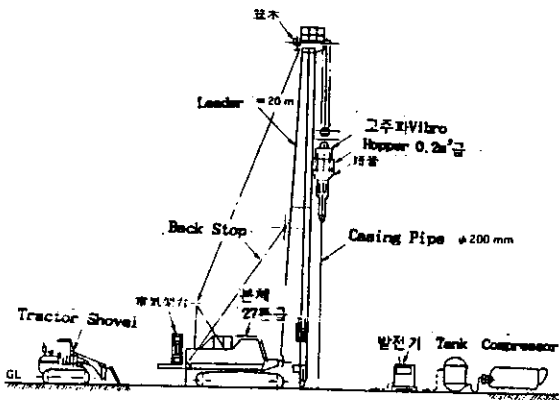


그림1 시공기계 구성

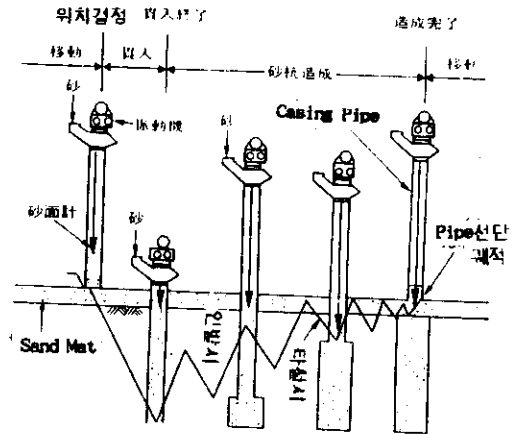


그림2 施工方法

### (3) 지반변위 저감효과

시공에 의해 발생하는 측방변위를 측정한 사례를 보면, 타설지역으로 부터 약 3m 떨어진 지점에서도, 수평변위는 대체적으로 1cm이하의 측정결과를 얻을 수 있었고, 환경에 대한 영향은 타설 지역부터 3m떨어진 지점에서는 거의없는 것으로 생각된다.

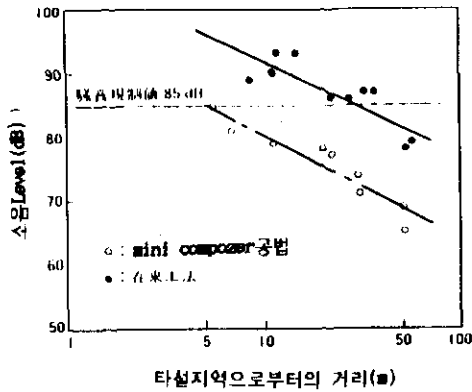


그림3 진동레벨의 비교

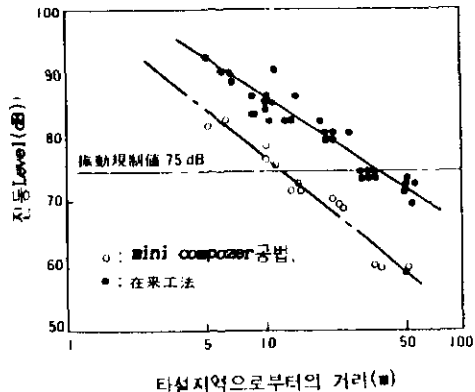


그림4 소음레벨의 비교

## 8. 噴射로 도전한 대심도 RJP공법

종래 지반개량의 고압분사 공법은 심층지반 개량 기술로서 지반 굴착 하부에 주입관의 하단 부근에 수평 방향으로  $200 - 300 \text{ kgf/cm}^2$ 의 고압의 경화재를 액상으로 분사하면서 주입관을 회전 인발하면서 상부로 올림에 의해 30-50cm의 원주상 고결체를 조성하는 고압 분사 개량공법 이었다. 이에 대하여 근년에 종래보다도 더욱 고속시공을 목적으로한 연구 개발이 진행되어 초고압( $300 - 700 \text{ kgf/cm}^2$ ) 시멘트-슬러리의 분사가 가능한 RJP(RODIN JET PILE)에 대해 기술체계가 정립되었다.

### 1) 공법의 개요

RJP공법은 초 고압수 분사 유체가 유동운동 에너지를 이용하여 지반조직 구성을 파괴, 그 파괴에 의한 토립자와 경화체를 혼합 교반, 지반중에 대단면의 개량체를 조성하는 공법이다. 구체적으로 초고압 수류와 공기噴流體, 또한 초고압 경화 분류체와 공기 분류체에 의한 합류식(공기분류체) 분할 2단계 SYSTEM을 이용한 것이다 (그림1)

삼중관 ROD선단에 장착된 RJP모니터에 의해 계획심도까지 굴착한 후 모니터 상단 노즐로부터 초고압 분류체와 그것을 포함한 공기 분류체를 분사하고 지반의 1차 절삭을 행한다. 혼합교반이 확실하게 행해진다. 개량영역을 크게 할 수도 있다.

참고적으로 RJP공법은 설계 유효경 (그림2)과 표준설계강도 (표1)를 표시.

### 2) 공법의 특징

(1) 상단의 분사절삭으로 대상 지반을 느슨하게하고 하단 분사 절삭으로 더욱 더 느슨하게하여 강제적 혼합 교반한다. 이것은 종래의 JET GROUT공법 보다도 광범위하게 절삭을

행하며 균일한 대구경 개량체를 조성한다.

(2) 각 ROD를 사용시 지상의 모니터로부터 노즐 위치를 확인하며 설계 각도를 부채꼴에 의한 요동 분사로 50 - 70도까지 자유로이 부채꼴 RJP를 조성한다.

(3) 경화재의 선정으로 사질토 지반 12- 20kgf/cm<sup>2</sup> 점성토지반 2-7kgf/cm<sup>2</sup>의 임의의 개량강도를 얻을 수 있다.

(4) Dry Casing의 건입, 스트레나 건입등의 보조공법이 없고, 굴삭부터 개량체 조성까지 연속작업 Cycle 시 시공이 가능하다.

(5) 인근 구조물 형상에도 부착 개량성이 좋고, 고압분류의 플라스틱 효과에 의해 조성체와 높은 밀착성을 얻을 수 있다.

또한 매설물이 있을 때도 이것을 포함해서 개량체를 조성 할 수 있고 콘크리트 및 철근을 사용한 것은 초고압 분류의 압력 정도에는 손상을 입지 않는다.

(6) 경화재는 무기질의 시멘트계 재료를 사용하며, 장기적으로 안정하며 무공해이고 경제적이다.

### 3) 시공 순서

RJP공법도 대형 펌프의 사용을 예정하였으나, 수년간의 계속연구 결과 초고압 소형 슬러리 펌프의 개발에 성공, 오늘날 RJP공법의 실용화 하였다.

이 밖에 슬라임의 퍼오름이 잘되게 하며 종래의 원형 Rod를 각형 Rod로 변경하였고, 고압에 대해 안전 방지 대책으로 Hose내의 Fuse를 취부하여 넣었다. (사진2,3)

이것은 이상고압으로 안전 문제가 있을 때에는 위력을 발휘한다.

또한 표준 원형 주상체 조성 방식에 대해서는 요동식 그리고 부채꼴 형상 조성 방식의 시공하는 굴삭기계도 개발, 시공 장소 및 시공 조건에 대해서는, 非常에도 시공성이 우수하

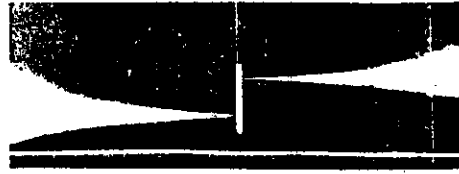


사진1 본사 상황

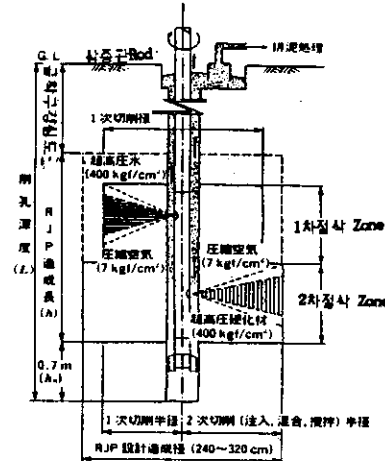


그림1 RJP공법개량模式圖(표준시공방법)

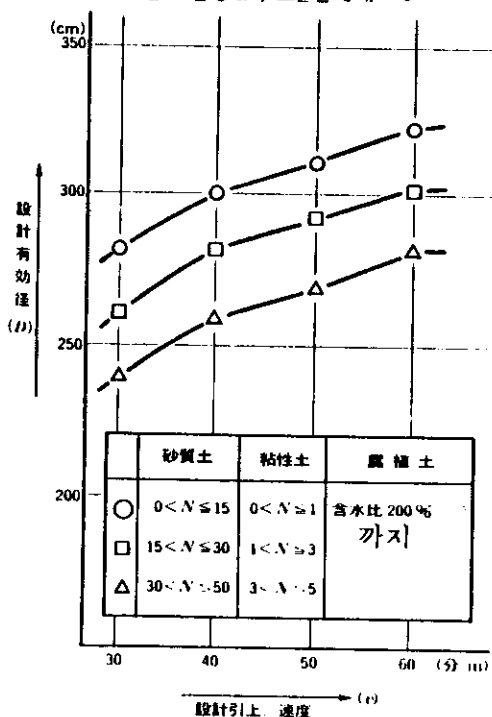
고 경제적인 공법이다.

그리고 廢泥處理機를 RJP공법의 시스템에 조합하였다.

RJP공법의 Flow-Sheet는 그림3에 표시. 시공순서는 아래와 같다. (그림4)

- (1) RJP Machine을 소정의 위치에 이동, 거치한다.
- (2) 지반 상황에 대응해서 공급압력회전, Stroke, 속도등에의해 계획심도까지 굴삭한다.
- (3) 계획심도 까지 굴삭한후 회전속도, 인발속도를 설정, 분사Test를 행한다.
- (4) 소정의 인발속도등 모니터(로트)회전, 反轉에의해 파일을 조성한다.
- (5) 조성완료후, 로트를 지상까지 인발하고 관내부가 막혔을 경우 세척을 행한다.

그림2 사질토, 점성토의 표준실계 유효강



\*1 이표는 심도 30M이내의 유효강임.

\*2 심도30M를 초과할경우의 유효강은

다음식에의해 표준실계 유효강-30cm

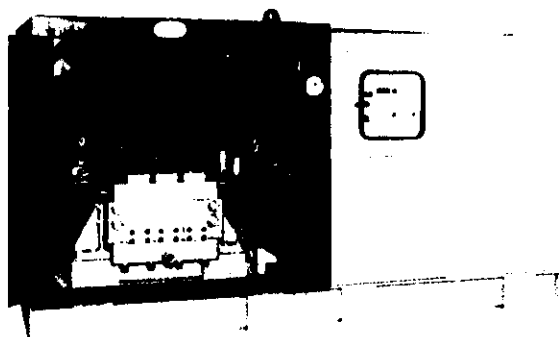


사진2 초고압 펌프

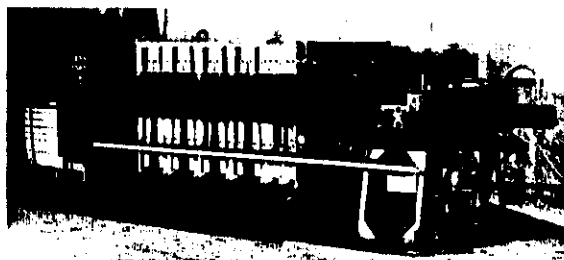


사진3 탈수처리기

표1 개랑채 표준설계강도

| 硬化層   | 土質  | 一軸圧縮<br>強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 粘着力<br>C<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 付着力<br>f<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 曲げ引張<br>強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 弾性係數<br>E <sub>s</sub><br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 水平方向地<br>盤反力係數<br>(kg/m <sup>2</sup> ) | 透水係數<br>(cm/sec)   |
|-------|-----|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|
| RG-1호 | 砂礫土 | 20以上                                 | 4                                  | 1/3 C                              | 2/3 C                                | 2 000                                            | 20                                     | $1 \times 10^{-1}$ |
|       | 粘性土 | 7                                    | 3                                  |                                    |                                      | 700                                              | 7                                      | $1 \times 10^{-1}$ |
| RG-2호 | 砂礫土 | 12                                   | 3                                  | 1/3 C                              | 2/3 C                                | 1 200                                            | 12                                     | $1 \times 10^{-1}$ |
|       | 粘性土 | 5                                    | 3                                  |                                    |                                      | 500                                              | 5                                      | $1 \times 10^{-1}$ |
| RG-3호 | 腐植土 | 2                                    | 1                                  |                                    |                                      | 200                                              | 2                                      | $1 \times 10^{-1}$ |

주) 1. 砂礫土는 사립토를 큰으로 하고, 礫의형상, 치수, 무수계수등의

검토가 필요, 硬化재의 특성은 다음과 같다.

RG-1호.....強度抑制型 二강도타입

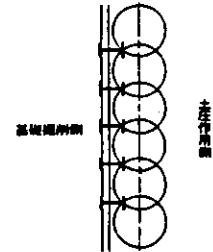
RG-2호.....強度抑制型 二강도타입

RG-3호.....腐植土用

2. 표의 각치수는 일반적 표준치이고 시공계획 작성시는 시공

목적, 대상지반, 그의 필요사항에 의해 재검토가 필요

土圧軽減, 止水封鎖工



支持力増強, 封鎖補強工

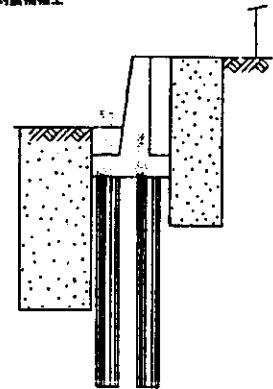


그림5 기초공사 적용예

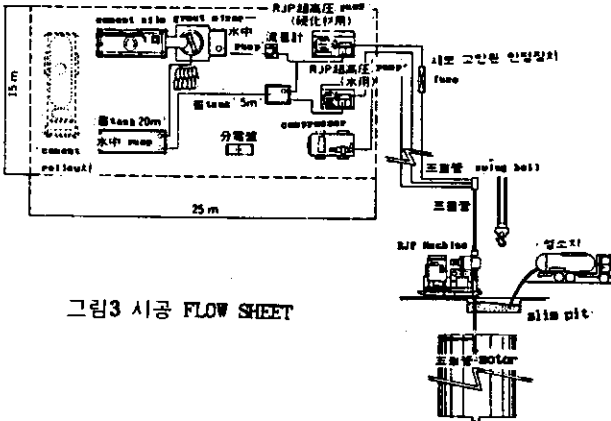


그림3 시공 FLOW SHEET



사진4 RJP의 요동 조성체



사진5 시공상황

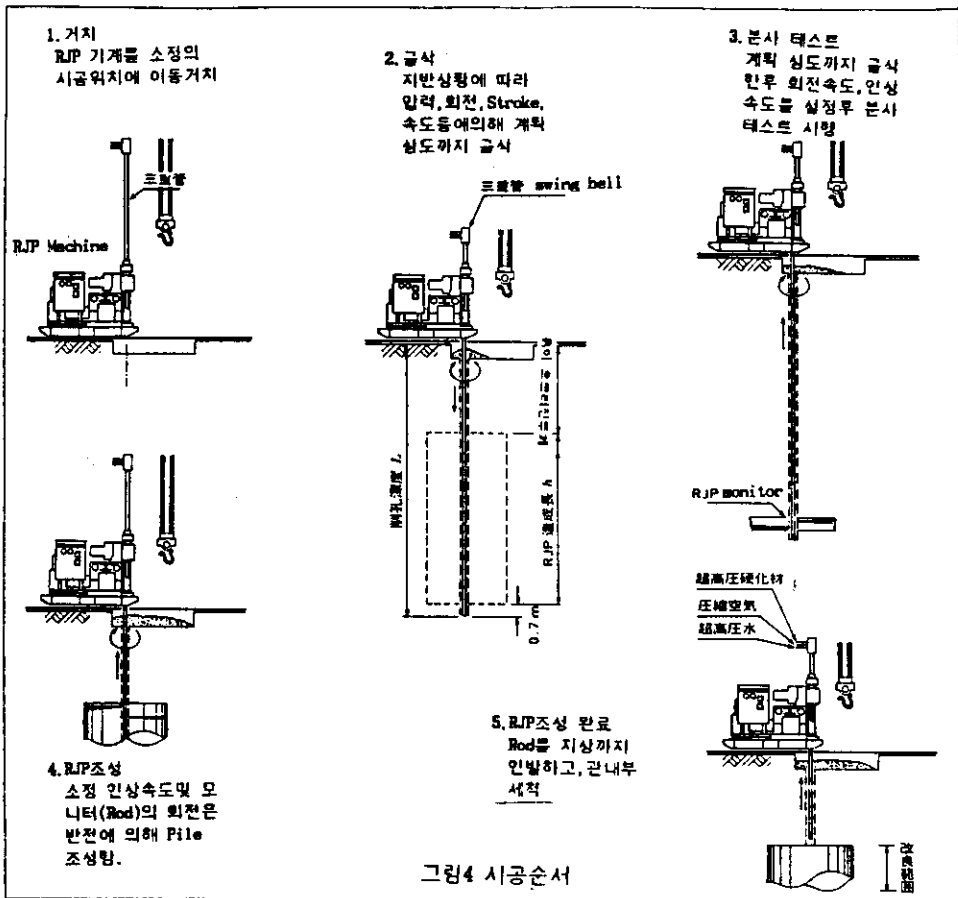


사진6 시공상황

## 效率的 施工管理 시스템

건축과장 윤종구

### 1 서론

建設現場을 최소의 인원으로 운영하고 관리효율및 관리密度를 높이기 위해서는 기존의 관리방식을 달리한 효율적 관리시스템의 도입이 필요하다. 최근 日本 시미즈(清水)건설에서는 노무집약형의 현장관리체제를 지양하고 합리적인 현장운영을 실현하기위해서 시공관리 정보시스템을 개발하였다. 이 시스템은 노무, 안전관리, 일보처리, 작업관리등의 일상관리 시스템과 공정계획관리, 품질관리등의 공사관리시스템으로 구성되어 있는데 이 미 新横浜(新 요코하마) 프린스호텔 건설공사에 효과적으로 활용되어 프린스호텔의 현장 관리시스템을 공사기록지와 관련자료를 인용, 요약 소개한다.

### 2 관리 시스템의 구성

시미즈건설에서는 시공관리시스템 구축을 위하여 시공을 지원하는 software로서 현장을위한 도구(tool)인 '現場 Man' 시스템을 개발하였는데, '現場 Man'은 CAD시스템을 이용한 종합-, 월간-, 주간 공정표작성, 구체-, 마감공사, 적산, 철골전립계획등의 다양한 시공계획관리를 시뮬레이션 하는 종합 software 이다. 이 시스템에서 CAD는 시공도를 효율적으로 작성할뿐만 아니라 도면정보의 관리도구로서 중요성을 갖는다. 시미즈건설에서는 이 시스템외에 통합건설생산 시스템으로서 SCHIMIZ CIC를 개발중이다. SCHIMIZ CIC는 설계, 계획, 공장부재생산, 현장시공관리, 생산관리의 4가지 Sub System과 시공계획관리정보등의 Project Data Base로 구성되어있으며 이중 시공관리 시스템이 현장관리를 담당한다.

### 3. 시공관리 시스템의 사용및 효과

新 요코하마 프린스호텔 신축시 활용이된 시스템에 대하여 소개를 하면 다음과 같다.

### 3.1 공정계획관리 시스템

경험에 의하는 공정계획의 작성을 컴퓨터에 입력, 처리하기 위해서는 기본조건인 노무, 자재, 가설, 기계, 시간에 대한 정보를 합리적으로 조합하는 방법을 확립하는 것이 관건이 된다. 또한 고정계획 작성시 기후나 노무부족등 예측이 어려운 외부환경이나 실적을 평가하면서 계획변경의 검토가 필요한 경우에도 유연하게 대응해야한다. 이시스템의 이용방법은 다음과 같다.

- 1) 기본 입력자료로서 작업항목, 작업량, 품셈, 분할공구 범위를 입력하여 기준층 공정을 작성한다.
- 2) 이 자료를 기본으로 작업소요일수, 선행작업, 작업의 연결, 병행작업을 그래픽화 함으로서 알기쉽게 작성, 확인하면서 공정을 설정 해간다.
- 3) 그래픽화면을 Mouse조작에의해 소요일수와 공수를 조절한다. 공정을 나타내는 Bar Chart는수평축에, 수직축에 시간, 공수를 나타내어 작업량을 Bar Chart의 면적으로 나타낸다.
- 4) 기준층 공정을 층수별로 반복하여 전체 공정을 작성한다. 이때 기준층 공정으로 설정한 선행작업의 조건을 만족시키고 동일작업이 연속되도록 하면 후속작업은 자동적으로 결정된다.
- 5) 각 공정마다 시공속도를 조절하고 전체공정의 부분적 수정을 실시한다. 동시에 타작업과의 관련여부를 확인하면서 대화식으로 공정을 수정하며 동시에 필요에 따라 공수를 계산하여 노무량을 파악해서 전체공정이 완성되도록한다.

시스템의 장점으로서 노무량이나 각 작업간의 관련성을 눈으로 확인하면서 추가, 변경하고 그 결과를 시뮬레이션 할수 있다. 따라서 합리적인 공정계획, 관리가 진행될수 있고 이에 대한 검토시간이 단축된다. 그리고 입력자료물 차후의 공정관리및 진척관리에 재사용할수있다.

### 3.2. PROMOTION 관리시스템

노무및 기자재 공급이 어려운 상태에서는 주요자재의 조달과정, 공업화공법의 검토과정, 외장등의 상세사항등 공사에 우선해서 검토해야할 사항, 조정업무에 관한 책임등을

명확히해서 관리해갈 필요가있다. Promotion관리는 이와 관련하여 시공공정을 예정대로 진행시키기위해,앞서 누가,언제까지,무엇을 해야만 하는가를 판단하고 이에 관련된 중심 자료를 관리해 가는 것이다. 이 시스템의 이용방법은 다음과 같다.

- 1) 각 공사항목마다 예정된 시공공정을 입력한다.
- 2) 기본 Promotion을 작성한다.
- 3) 현장의 조건에 맞게 관리항목,소요일수의 수정을 실시한다.
- 4) 업무실적을 입력하여 Promotion Table을 출력한다.
- 5) 업무량을 조절하고 파악한다.

Promotion관리시스템을 운영함으로써 다음과 같은 효과가 기대가 되는데,  
첫째,기자재 조달공정을 고려한 공업화공법의 계획,검토가 가능하므로 실제 상황에 대한 최적용법을 설계에 반영할 수 있으며  
둘째,업무형태가 매뉴얼화 되어있으므로 간단히 Promotion Table을 작성할수 있고  
셋째,업무량의 파악이 쉽고 정확한 업무의 지시가 가능하며  
넷째,업무수행에 대한 상황정보를 공유 함으로서 발생될 문제를 예측하기 쉽고,문제가 발생할 경우 즉시 대처 할수있고  
다섯째,공사및 담당자별,업무별등의 내용검토가 손쉽게 될수있다는 점이다.

### 3.3 공사진척관리,검사 시스템

마감공사의 공정이 많고 공사장소가 여러개의 장소로 나누어져 공사가 진행될 때,공사진척관리나 검사에는 많은 항목에 걸쳐 확인작업이 필요하다. 이 시스템은 전산화된 자료의 입출력에 현장에서 휴대용 단말기(Handy Terminal)을 이용,이러한 확인및 후속작업에 따르는 처리를 공사진척관리시스템을 효율적으로 처리함(그림1,2)과 동시에 관리에 필요한 각종의 정보를 신속히 제공하는 것을 목적으로 하고있다. 공사진척관리시스템의 이용방법을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 진척관리항목,품질검사항목의 설정  
:공정계획 시스템에서 작성한 자료를 이용하여 진척관리대상항목을 설정한다.
- 2) 실적정보의 수집



그림 1 Handy Terminal에 의한 진척, 검사 Data의 수집

그림 2 Handy Terminal로부터 PC로의 Data전송

:항상 변화하는 현장정보를 가능한 현장에서 보면서 필요한 정보를 정보발생 시점에서 Handy Terminal에 입력한다.

### 3) 계획과 실적의 비교

:Handy Terminal로 부터 PC로 전송된 자료는 층별, 공종별로 나누어져 Real Time으로 표시된다.

- 4) 공정계획 Sub-System에서 작성한 자료와 Handy Terminal로 수집한 자료를 층별또는 전체공정에서 비교 할수있도록 표시된다.(공정계획관리시스템과 P.C용 분석프로그램과의 자료공유가 가능하다.

이에 대한 효과로서

- 1) Handy Terminal로부터의 해당공사에 필요한 자료를 출력시켜 공사진척을 명확히 알 수있다.
- 2) 공정계획의 예정과 실적과의 비교가 가능하고 다음 공정에 반영할 수 있다.
- 3) 기간별로 매출액실적의 누적이 가능하다.
- 4) 매출액이나 미달실적을 확실하게 수집가능하여 작업별, 층별 정리가 가능하다.
- 5) 실적자료를 입력, 저장시킴으로 품셈자료와 그 숙달상태및 부적절공사의 분석이 가능하므로 다음 공정계획에 반영할 수 있다.

## 3.4 노무안전, 일보관리 시스템

건설공사현장에서는 매일 많은 협력업자의 작업원에 대한 출퇴근관리, 노무관리, 안전관리, 작업원 개인의 신상자료수집, 작성에 대한 업무가 품질-, 원가-, 공정관리와 같이 중요한 업무가 되고있다. 노무안전관리는 항상 작업상황에서 현장관리자가 작업원을 충분히 파악하고 노무수배의 원활한 운용, 작업원의 재해방지를 도모하는 것이다(그림3).

MORNING-IN CARD에 의한 출근

MORNING-IN CARD에 의한 퇴근

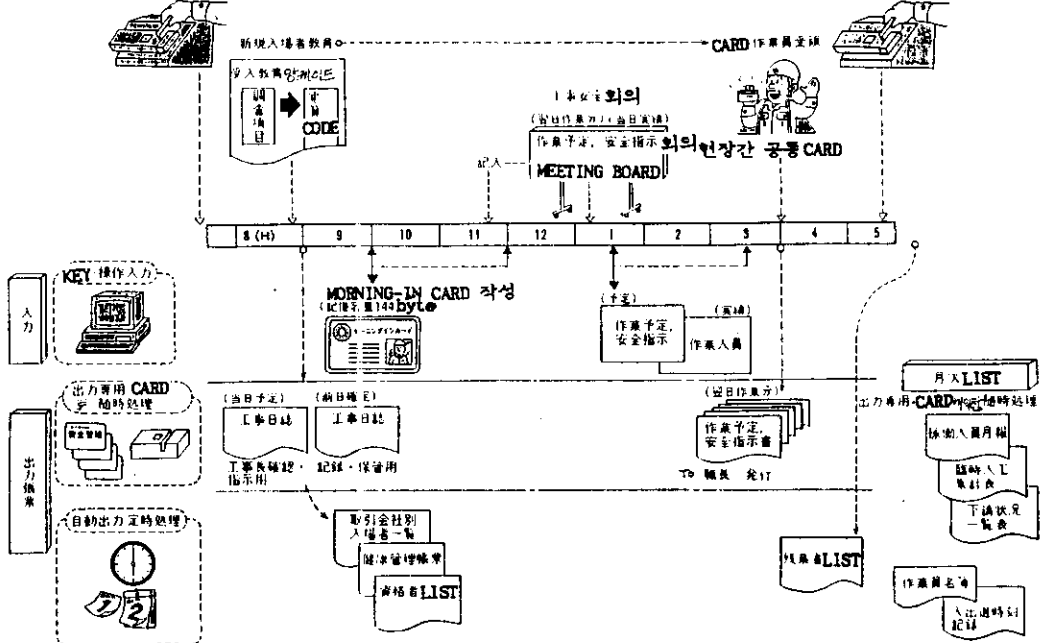


그림 3 노무안전. 일보관리 시스템의 구성

따라서 매일 수십명에서 크게는 수백명 정도의 작업원의 노무및 안전관리에 대한 다량의 작업이 발생한다. 이 공사에서는 현장의 노무, 안전의 효율적 관리를 위하여 磁氣카드 (Morning-In Magnetic Strip Card)에 의한 노무관리와 Meeting Board에 의한 작업관리 시스템을 도입, 적용하였다.

### 1) 磁氣카드에 의한 노무관리 시스템 : MORNING-IN

Magnetic Strip Card (144byte) 에 작업원 각자의 해당자료를 기록하고 출퇴근시 경비실에 설치된 Magnetic Card Reader에 의하여 노무안전관리에 활용하는 시스템이다.

### 2) Meeting Board에 의한 작업관리 시스템

이 시스템은 Data Base에 등록되어있는 협력회사명, 직종, 공사종류등의 필요사항을 Multi Media System을 이용한 Meeting Board위에 불러내어 필요자료를 간단한 조작에 의하여 화상에서 검색할수 있고 작업관련 회의에서의 결정사항, 작업지시서나 공사일지, 안전일지등의 작성을 Meeting Board에 작성, 입력시켜 현장직원 누구나가 현장상황을 파악할수 있게 하는 시스템이다. 직원이 직접 자필로 각종 작업관련사항을 Meeting Board에 기록하면 자동적으로 입력, 편집되어 필요시 출력하여 작성, 관리에 소요되는 사무처리 업

무를 대폭 감소시킨다. 입력자료는 Data Base화 하여 필요사항을 Meeting Board위에 출력시킬 수 있으므로 별도의 종이 필요없이 화상으로 자료의 출력이 가능하다. 이 시스템의 장점중의 하나로 입출력 조작이 간단하므로 공정관리에 대한 전직원의 참여의식과 관심이 높아진다. 또한 Meeting Board 1대로 현장내의 각종 회의가 가능하고 실내 공간도 간소화된다(그림4, 5).

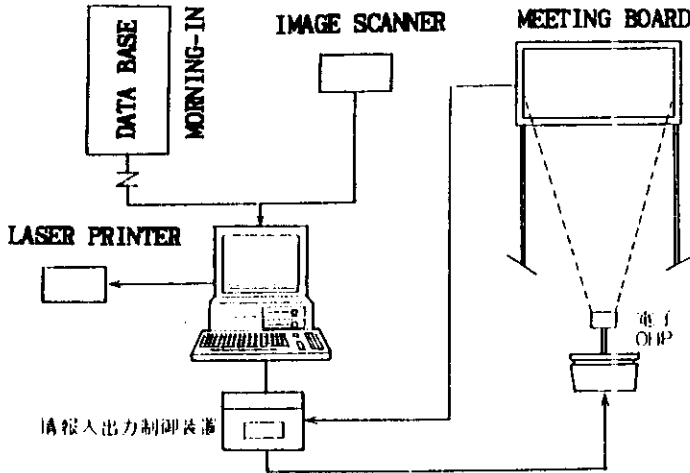


그림 4 Meeting Board시스템의 구성

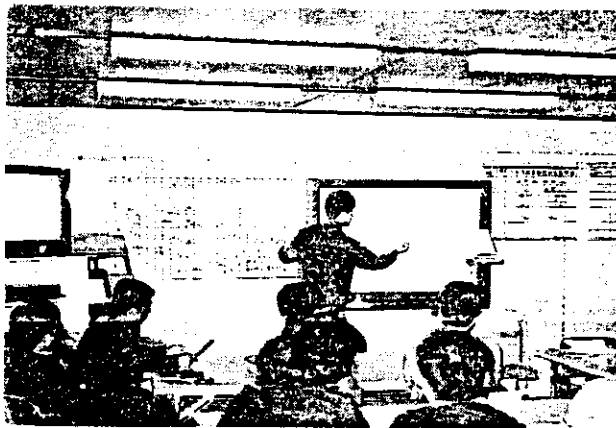


그림 5 Meeting Board에 의한 회의진행

이상에서 본바와 같이 현재의 시공관리 시스템은 각 부문, 각 현장의 전문가에 의해 개발되어 번잡한 사무체계의 일원화와 업무의 감소, 공사관리등에 많은 효과를 얻고 있다. 각종 공사에서 계획공정내에 공사가 완공되는것이 원가절감의 기본사항중의 하나인 효율적인 공사, 공정관리를 위한 시스템의 개발은 매우 중요한 의미를 갖는다. 그러나 시스템의 적극적 활용이 이루어지기 위하여서는 시스템의 사용이 누구나 현장에서 할수있게 간편화 되어야하며 관련기기의 기능향상과 구입비용등 도 해결되어야할 문제이다. 시스템의 개발에 많은 전문인력과 비용이 수반되어야 하므로 보급형 시스템을 개발, 중소기업의 현장에서도 부담없이 이용할수 있게 하여야 한다.

## 消火栓 회로의 문제점 및 개선방안

전기차장 김남진

### 1 개 요

근래에 들어와 건물의 대형화, 고층화 추세에 따라 화재발생시 인적, 물적피해도 이와 비례하여 증가하고 있다. 이에 따라서 소방법에 의거, 비상시 화재의 조기진압과 능동적인 消火의 목적으로 일정 규모 이상의 건물에는 반드시 소화전을 설치하도록 의무화하고 있다.

소화전의 작동을 기동시켜주는 소화전의 회로구성은 항상 높은 신뢰도를 유지하여가 유사시 실패없이 재기능을 발휘하여야 한다. 그러나 소방법에 의하여 설치된 소화전 회로구성은 점점개소가 많아 장시간 공기중에 노출될 경우 회로연결이 재기능을 하지 못하여 화재경보와 진압에 실패를 가져오는 경우가 많다. 본 자료에서는 소화전 설치에 관한 일반사항과 기존 소화전의 회로상 문제점, 그리고 기존 소화전회로를 보완하여 고신뢰도를 얻을수 있는 방법에 대하여 알아보도록 한다.

### 2 소화전에 대한 일반사항

#### 2.1 옥내 소화전의 설치기준

- (1) 연면적 600  $\text{m}^2$  이상 : 지하상가
- (2) 연면적 1,000  $\text{m}^2$  이상 : 지정문화재
- (3) 연면적 1,500  $\text{m}^2$  이상 : 공연장, 경기장, 집회장
- (4) 연면적 2,100  $\text{m}^2$  이상 : 음식점, 여관, 호텔 공동주택 (4층이상), 병원  
학교, 사업장(관공서 은행 회사등), 창고

옥내 소화전 방수압력은 노즐선단에서  $1.7\text{kg}/\text{cm}^2$  이상이고 방수량은 1개당 130 리터/분 이상 이어야 한다. 방수압력은 높을수록 소화범위가 넓고 효과적으로 사용 할수 있으나 소화설비의 재질, 조작자의 구성원 및 건물의 사용 용도에서 적절한 압력치를 선정한

다. 성인 남자가 많은 사무소, 공장에서는  $5\text{kg}/\text{cm}^2$  이라도 안전하게 조작할 수 있으나 병원 유치원등과 같이 조작자가 유약자일 경우는  $3\text{kg}/\text{cm}^2$  정도로 설정하는것이 적절하다. 왜냐하면 방수에 따른 소화전의 반동력 때문에 노즐을 소화위치에 조준을 할수가 없다.

## 2.2 옥외소화전의 설치기준

옥외 소화전 설치기준은 바닥면적이  $9,000\text{m}^2$  이상인 모든 건물에는 옥외 소화전을 설치하여야 한다. 단, 지정문화재용 건물은 연면적  $1,000\text{m}^2$  이상일 경우 설치하여 한다. 옥외 소화전 기능은 법령상 기준 방수압력이 노즐선단에서  $2.5\text{kg}/\text{cm}^2$  이상이고 방수량은 1개당 350 리터/분 이상이어야 한다. 옥외 소화전은 건물 외부에서 1.2층 부분의 화재를 소화하기 위하여 설치된 설비로서 주요부는 옥내 소화전과 거의 동일하다.

옥, 내외 소화전에 관련된 사항으로

- 1) 소화전표시등은 발신기의 위치에서 가장 가까운 거리에 설치하고 항상 점등 되어 있고 적색이어야 한다. 또한 부착면과 15도 이상의 각도를 이루는 쪽 방향을 따라 10m 떨어진 곳에서 용이하게 식별할 수 있어야 한다.
- 2) 옥내 소화전 설치는 소방대상 건물의 도보거리 25m 마다, 옥외 소화전 설치는 소방대상 건물의 도보거리 50m 마다 설치하여야 한다.

## 3 기존 소화전회로의 문제점

기존 소화전의 회로도와(그림1) 문제점은 다음과 같다.

- 1) 소화전에 설치되어 있는 수동발신기, 소화전표시등, 경종 및 펌프기동 표시등용 전원은 일반적으로 A.C 와 D.C 로써 전압이 상이하다. 즉 A.C 전원은 펌프기동 표시등과 Push-Button 스위치에 공급되고 수동발신기 소화전 표시등, 전화 및 경종에는 D.C 전원이 공급된다.
- 2) 펌프 기동시는 Push-Button 스위치의 make접점을 정지시는 break접점을 작동함으로서 정지용 신호선은 전소화전에 설치되어 있는 break접점을 직렬로 연결한다. 따라서 소화전이 많이 설치하면 할수록 선로의 길이와 접점수가 많아져 선로 전압강하와 접점의 접촉조향이 증가한다.

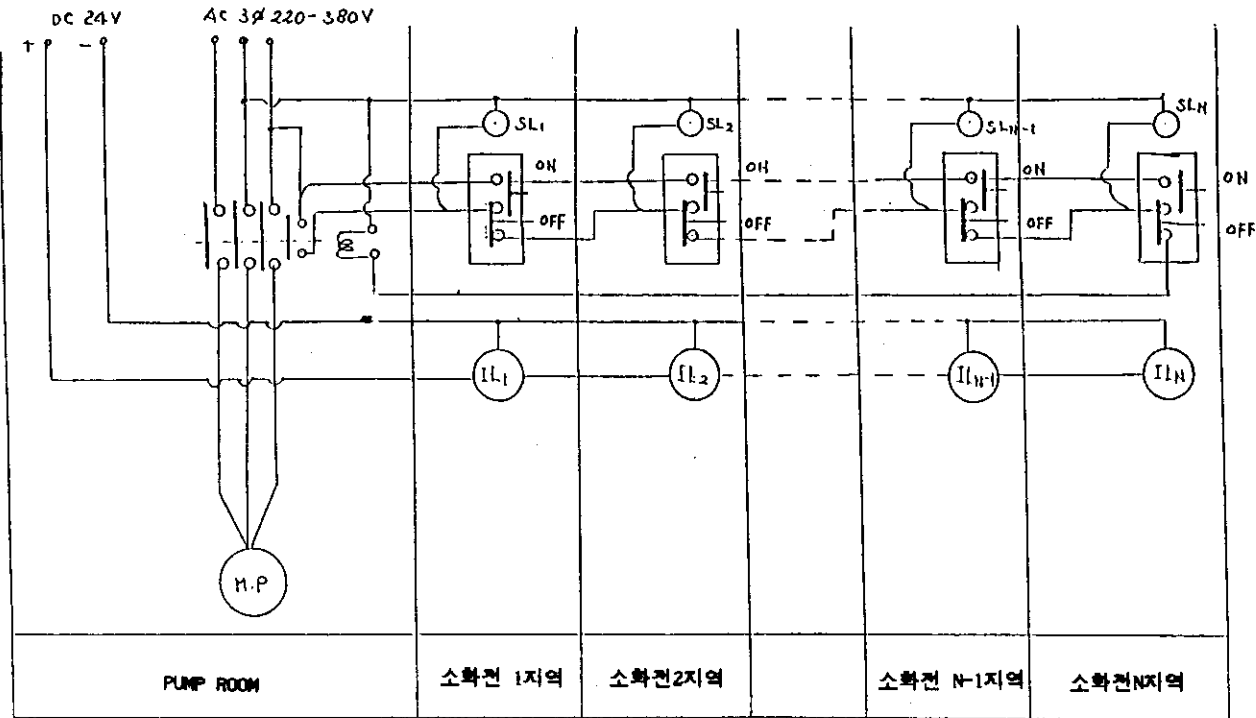
- 3) Push-Button 스위치의 外函은 일반적으로 아크릴이나 P.V.C 로 제작되기 때문에 화재 발생일로 소손되기 쉬워서 접점을 지지하는 스프링이나 레버의 변형을 가져와 접점의 가동자는 자동적으로 이탈이 된다. 즉 make접점이나 break접점으로서의 기능을 상실한다.
- 4) 소화전 표시등은 24시간 점등시키므로 내장된 강압용 소형 트랜스와 와 램프에서 에너지 소모와 고장이 많다.
- 5) 소화전 표시등 과 펌프기동 표시등은 백열 램프를 사용하므로 램프의 수명이 짧아 유지비가 많이 든다.
- 6) 기존의 회로방식은 고장발생시 소화전마다 고장탐색을 하여야만 고장점을 발견 할수 있으므로 유지보수가 어렵다.
- 7) Push-Button 스위치의 접점은 장기간 동안 공기중에 노출되어 있기 때문에 습기와 매연등으로 산화되거나 녹이 슬어 접촉저항의 증가와 불량개소가 자연적으로 발생하여 기능상 장애요인 이 된다

#### 4 개선방안

- 1) 소화전에 설치되어 있는 수동발신기 소화전 표시등, 경종 및 펌프기동 표시등을 작동하기 위한 전원을 A.C 나 D.C 중 하나로 선택하고 기능에 이상이 없는 한 낮은 전압으로 공급한다
- 2) 소화전내 각종 기기의 조작선로는 상전압과 주파수가 일치하는 것은 같이 묶어주고 그외는 분리하여 연결한다.
- 3) 펌프 기동시와 정지시 작동용 Push-Button 스위치의 make접점만 이용하여 기존방식의 직렬연결을 병렬로 변경한다.
- 4) 소화전 표시등은 기존방식에서 소형 백열전등을 사용하고 있으나 이를 제거하고 LED로 교체한다.
- 5) 소화전 펌프기동 표시등은 기존방식에서 소형 트랜스를 사용하고 있으나 이를 제거하고 스프링 코넥터, LED 및 Resistor를 사용하여 교체토록한다.

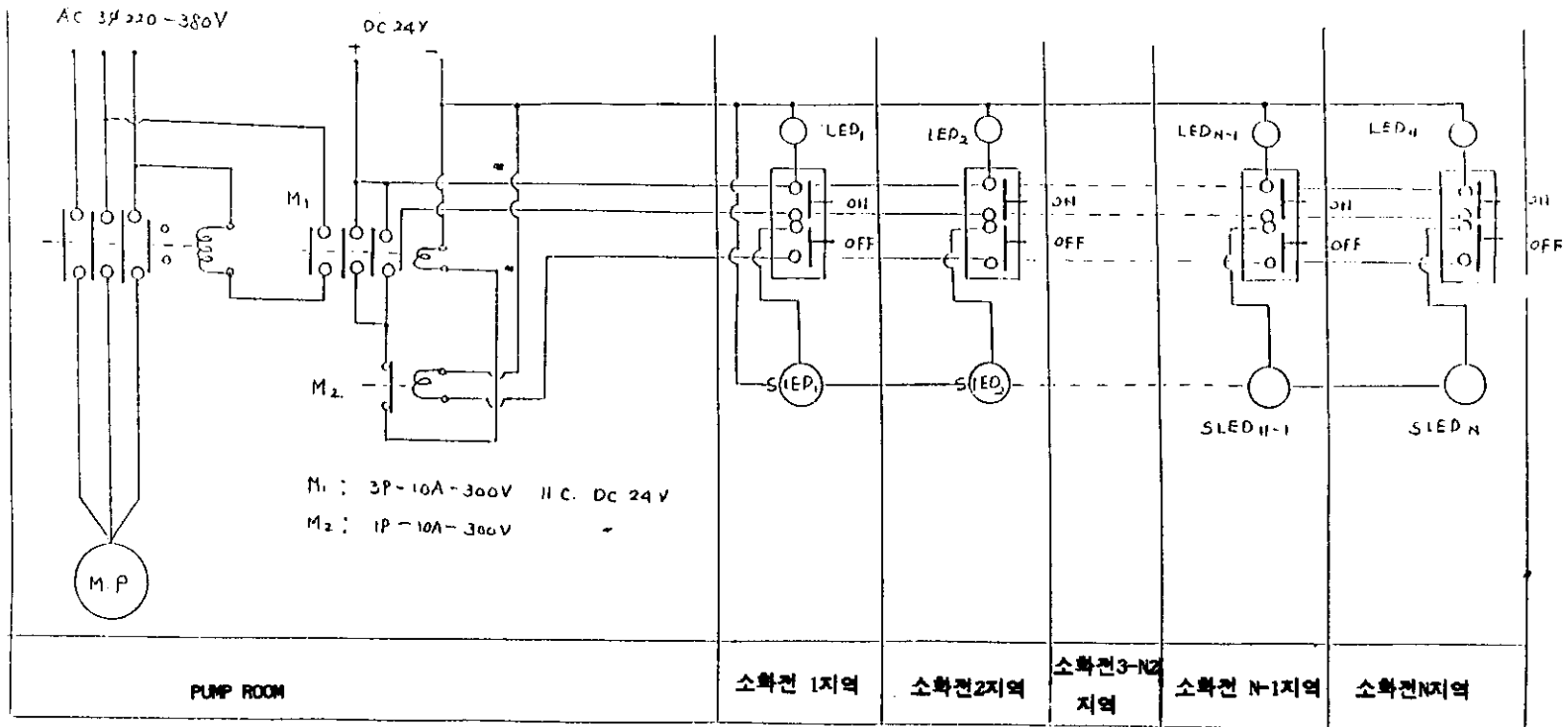
이와같이 개선된 소화전 회로 연결도는 그림2와 같다.

# 기존회로도



NP: 소화전모터펌프  
 IL: 소화전표시등 (INDICATOR LAMP)  
 SL: 소화전기통표시등 (STARTING INDICATOR LAMP)

# 개선안 회로도



MP: 소화전 모터펌프  
 LED: 소화전표시등  
 SLED: 소화전기종표시등

## 히트펌프 (HEAT PUMP)

기계과장 문철규

### 1 序 論

히트펌프(Heat Pump, 熱펌프)의 기본원리는 낮은 수준에 있는 열원으로 부터 열을 취득하여 높은 수준의 열원에 방출하는것으로 냉동기의 기능과 같다. 히트펌프는 1920년대에 이른의 정리를 거쳐 미국, 유럽, 일본등지에서 1930년대에 실용화되었으나 기술은 매우 더디게 발전을 하여 그동안 일반화 되지는 못하였다. 그러나 1970년대의 오일쇼크에 의한 油價상승, 국제적인 에너지절약추세로 히트펌프에 대한 관심을 가지게 되었다. 지난 1974년 국제경제개발협력기구(OECD)에서도 히트펌프시스템에 관한 각국의 연구개발, 정보의 교환협정이 체결이 된이후 히트펌프에 관한 기술은 획기적으로 발전을 거듭하여 산업 분야에 널리 보급되어 냉난방 뿐만 아니라 급탕설비에도 이용화 되고있고 국내에서는 80년대 초 한국전력에 의해 국내에서도 공기열원을 이용한 열펌프시스템이 시도된바 있다.

### 2 히트펌프의 작동원리와 분류

#### 2.1 개 요

히트펌프의 원리는 양수펌프가 낮은 위치에 있는 물을 높은곳으로 퍼올리는 것과 같이 低溫에 있는 熱을 高溫으로 끌어 올리는 장치이다. 즉 히트펌프에서는 低溫物體로의 採熱작용과 高溫物體로의 放熱작용의 2가지 작용이 얻어진다. 전자는 냉동, 냉방효과이며 후자는 가열, 난방효과이다. 냉동, 난방효과만 이용하는 경우, 즉 냉동 cycle에서 냉각열만 이용하는것을 냉동기라고 부르고 냉동, 냉방효과와 가열, 난방효과 모두를 이용하거나 가열, 난방효과만을 이용하는경우를 히트펌프라고 부른다. 단지 히트펌프는 방출열도 이용하므로 냉난방은 물론 각종 산업에서의 적용범위도 냉동기보다 광범위 하다. 히트펌프는 또한 에너지 효율이 좋고 연료의 연소가 수반되지 않으므로 환경오염이 없으며 히트펌프를 냉난방에 적용시키는 경우 1대의 기계로 여름에는 냉방을 겨울에는 난방을

할수 있을뿐 아니라 특히 여름철에는 냉방과 함께 온수도 생산할수 있다.

히트펌프의 성능은 투입된 기계의 일량에 대한 발생열량의 비율인 成績계수 (Coefficient of Performance:COP)를 이용하여 나타내며

$$COP = Q_c / A \cdot L_w$$

여기서  $L_w$ : 투입된 일의 양 (kw)  
 $A$  : 일의 열당량 (kcal/w)  
 $Q_c$ : 발생열량 (kcal/hr)

따라서 성적계수가 높으면 높을수록 히트펌프의 경제성은 높아진다.

히트펌프의 열원으로는 공기, 물, 태양열, 생활하수등이 이용될수 있다. 공기열원으로는 일반대기의 열이나 폐공기열이 물열원으로 지하수, 목욕탕, 생활하수등의 열원을 들수 있다. 히트펌프는 압축식과 흡수식 2종류로 나누어지나 일반적으로 히트펌프는 압축식을 말한다.

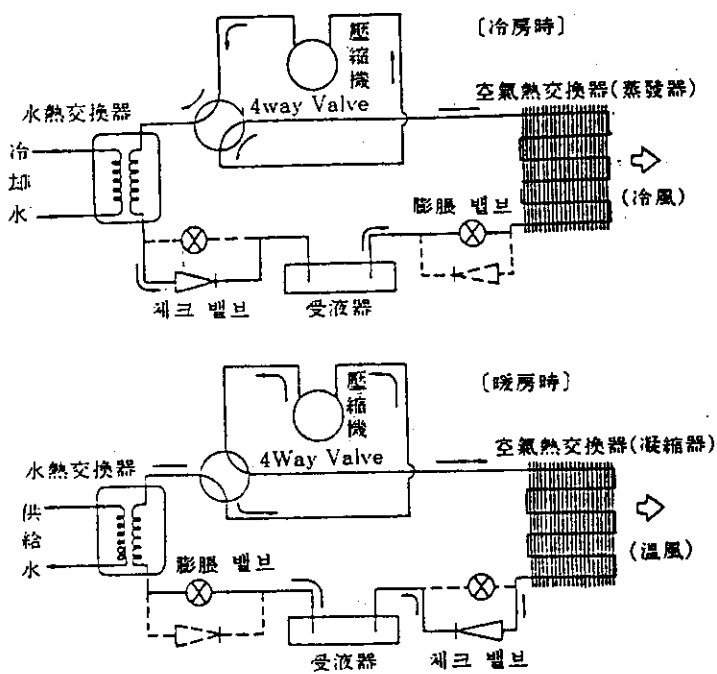
## 2.2 압축식 히트펌프

### 2.2.1 압축식 히트펌프의 원리

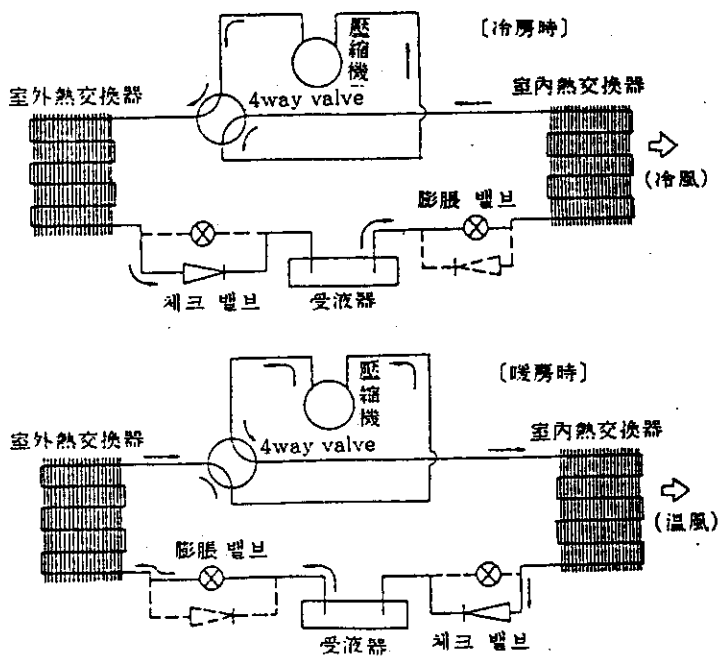
압축식 히트펌프는 冷媒의 포화온도가 압력에 따라 달라지는것을 이용한다. 따라서 저온,저압의 냉매가 증발기에서 주위로 부터 열을 빼앗아 증발하여 증기상태로 되며 이 물 압축기로 압축하여 고온,고압의 상태로 만든후 다시 응축기에서 응축되어 열을 발생시키는 원리를 이용한것이다.

### 2.2.2 압축식 히트펌프의 구성

압축식 히트펌프의 구성은 압축기,유량제어기구및 열교환기 등의 주요부품으로 구성 되어 있는데 냉매를 이용하여 열역학 cycle을 구성하므로 낮은온도의 열원에서 높은 온도의 열원으로 필요한 열을 이동시키는 열기기이다. 그림1은 압축식 히트펌프의 기본구성을 나타낸다.



(a) 水熱源 히트 펌프



(b) 空氣熱源 히트 펌프

그림 1 압축식 히트펌프의 기본구성

### 2.2.2 압축식 히트펌프의 작동원리

그림2는 엔진구동 압축식 열펌프의 작동원리를 나타낸것으로 난방시는(그림2b) 프레온가스를 압축기로 고온,고압으로 응축시킨후 여기서 발생하는 응축열로 난방효과를 얻게된다. 응축된 가스는 유량제어기구에 의하여 팽창되어 저온,저압의 상태로 바뀌면서 실외공기로 부터 열을 빼앗고 다시 압축되는 과정을 되풀이 하게된다. 냉방시는 실,내외 열교환기의 역할이 반대로 되는경우(그림2a)로 실내의 열교환기에서는 증발기,실외 열교환기에서는 응축이 일어나게 된다.

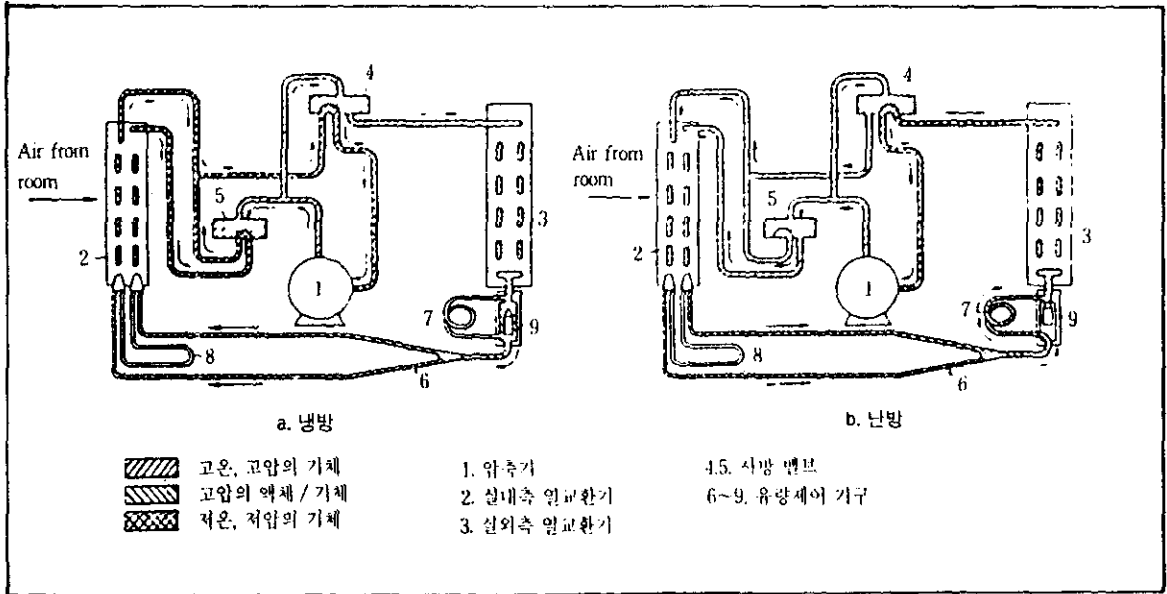


그림2 압축식 히트펌프의 작동원리

### 2.3 흡수식 히트펌프

흡수식 히트펌프는 同一 증기압력상태하에서 냉매의 포화온도보다 흡수액의 평형온도가 높다는 원리를 이용한것이다. 다시말하면 어느 온도에서 증발기에서 증발한 냉매가 흡수액에 흡수되며 이때 潛熱에 의하여 흡수액을 가열, 증발시킨다. 흡수식 히트펌프는 압축식 히트펌프의 압축행정 대신 흡수액의 가열에 의한 냉매의 고압, 증발프로세스를 이용한것이다. 냉매로는 물이 사용되고 흡수액으로는 브롬화 리튬(LiBr)이 사용되지만 0도이하의 저온을 얻기위하여서는 물을 흡수액으로 하고 냉매를 암모니아가스를 흡수액으로는 사용된다. 압축식 및 흡수식 히트펌프의 종류 및 특성을 나타내면 표1과 같다.

|             | 분 류            | 작동유체                                                            | 구동장치                                    | 저온열원              | 출력열원           | 발생열량                           | 공 해            | 용 도                     |
|-------------|----------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------|----------------|--------------------------------|----------------|-------------------------|
| 압<br>축<br>식 | 밀 배<br>사이클     | 프레온                                                             | 전동기                                     | 배열                | 80℃~130℃       | 승온폭 및<br>구동방식에<br>따라 크게<br>달라짐 | 1. 프레온<br>대기오염 | 온수제조                    |
|             | 개 방<br>사이클     | 물(수증기)<br>유기매체                                                  | 배열<br>(프레온터빈)<br>증기이젝터                  | 환경열<br>지열         | 일기권구동<br>~160℃ |                                | 2. 소음          | 건조<br>농축 및<br>종류<br>VRC |
| 흡<br>수<br>식 | 제 1 종<br>(증열형) | 1. LiBr-H <sub>2</sub> O<br>2. H <sub>2</sub> O-NH <sub>3</sub> | 증 기<br>(5~10kg/cm <sup>2</sup> )<br>연 료 | 동 상               | 40~95℃         | 구동열의<br>180% 정도                | 작동유체<br>의 누설   | 온수제조                    |
|             | 제 2 종<br>(승온형) | 3. 유기용매<br>-유기매체                                                | 배가스<br>(60℃이상)<br>온배수                   | 배열<br>(60℃<br>이상) | 100~150℃       | 배열회수량<br>의 50%                 |                | 온수제조<br>증기제조            |

표1 압축식 및 흡수식 히트펌프의 종류와 특성

### 3 熱源의 분류와 적용

#### 3.1 熱源의 분류

히트펌프는 熱源에 의하여 시스템과 활용도가 결정된다. 히트펌프는 낮은 온도의 열을 열원으로 하기때문에 이론적으로는 물론 실제적으로도 효율이 실현가능한 온도차에 따라 크게 달라지므로 히트펌프의 운전특성과 경제성은 열원에 의하여 좌우된다. 공기 및 온수난방 등 각종시스템에서는 가능한한 낮은 온도에서 최대한 경제적인 난방이 이루어지기 위하여는 응축온도가 45도에 이르러야 효율을 실제적으로 규정할수 있다. 히트펌프를 운전하기 위한 열원의 조건으로는 희망하는 이용온도와 이용가능한 열원사이의 온도차가 비교적 적어야 하며 열원의 온도는 가능한한 높아야 한다. 그러나 이와같은 조건에 부합하는 열원을 찾기는 쉬운일은 아니다. 예로 지하철에서 발생하는 환기열을 사용하면 열펌프의 활용은 우수하나 설치장소에 제한을 받는 약점이 있다. 또한 열원의 풍부성, 온도, 등이 불리할 경우 보조열원이나 부속 설비가 필요하기 때문에 열원의 선택과 더불어 냉난방을 위한 기기용량이나 유지관리비용 등도 검토해야될 사항이다.

그림 3에 히트펌프에 사용되는 각종 열원에 대한 특성과 적용을 나타내었다.

| 열 펌프<br>평가항목 | 자 연 에너지(태양열원) |     |    |    |      | 폐 열 원 |    |     |
|--------------|---------------|-----|----|----|------|-------|----|-----|
|              | 대기            | 지하수 | 表水 | 대지 | 태양열  | 배수    | 배기 | 實發熱 |
| 건축종별적용성      | ●             | ●   | ●  | ○  | ○    | ○     | ○  | ○   |
| 지 역 적 용 성    | ●             | ○*  | ○* | ●  | ○--* | ●     | ●  | ●   |
| 시간적 적용성      | ●             | ●   | ●  | ●  | □    | □     | □  | ○   |
| 경제적 적용성      | ●*            | ●*  | ○* | □  | □--* | ○*    | ○* | ●   |
| 양 의 풍부성      | ●             | ○*  | ●* | ○  | ○--* | □*    | □  | ○   |
| 온 도 조 건      | ○*            | ●   | ●  | ●  | ●    | ●     | ●  | ●   |
| 기 기 규 격      | ○             | ●*  | ○* | ○  | ○--* | ○*    | ○* | ●   |
| 부속설비의요구성     | ●             | □*  | □* | □  | □    | □*    | □* | ●   |
| 유 지 관 리      | ●             | ●*  | ●* | ○  | □    | □*    | ○* | ●   |
| 적 용 규 모      | 전체            | 전체  | 전체 | 소  | 소-중  | 중     | 전체 | 대규모 |

● :가장유리. ○ :유리. □ :보통.

\* :조건(기상,수질,지리,지세,등)강하게 의존한다.

그림 3 열원의 특징과 적용

#### 4 熱源사용별 히트펌프의 종류

우리나라에서 주로 활용하고 있는 열원의 종류를 대별하면 공기와 물이며 그밖에 냉매의 응축열을 이용한경우가 있으나 극히 드물다. 열원에 따른 히트펌프의 종류는 다음과 같다.

##### 4-1. 水 熱源 열펌프 방식

##### 4.1.1 물 對 물 열교환형 히트펌프 시스템

열원으로 지하수, 호텔, 목욕탕, 헬스센터등의 잡배수, 공장폐수등에서 열을 흡수하여 난방용 온수나 급탕용 물을 가열하는데 사용하며 앞으로 활용분야가 가장 넓을것으로 예상된다. 그러나 잡배수를 폐열원으로 사용하였을 경우 수질문제로 여과가 필요하다. 시스템의 열교환기에 미생물이 부착하여 열교환이 저하되므로 이를 방지하기 위하여 자동 세척장치가 추가되어야 한다. 겨울철 최종처리온도가 +30도 정도일때 시스템전체를 고려한 COP는 평균 3.5정도를 유지할수 있다. 그림 3은일본의 호텔에서의 잡배수를 이용한 자동세척장치가 추가된 물대 물 열교환방식을 이용한 히트펌프시스템의 개략도이다.

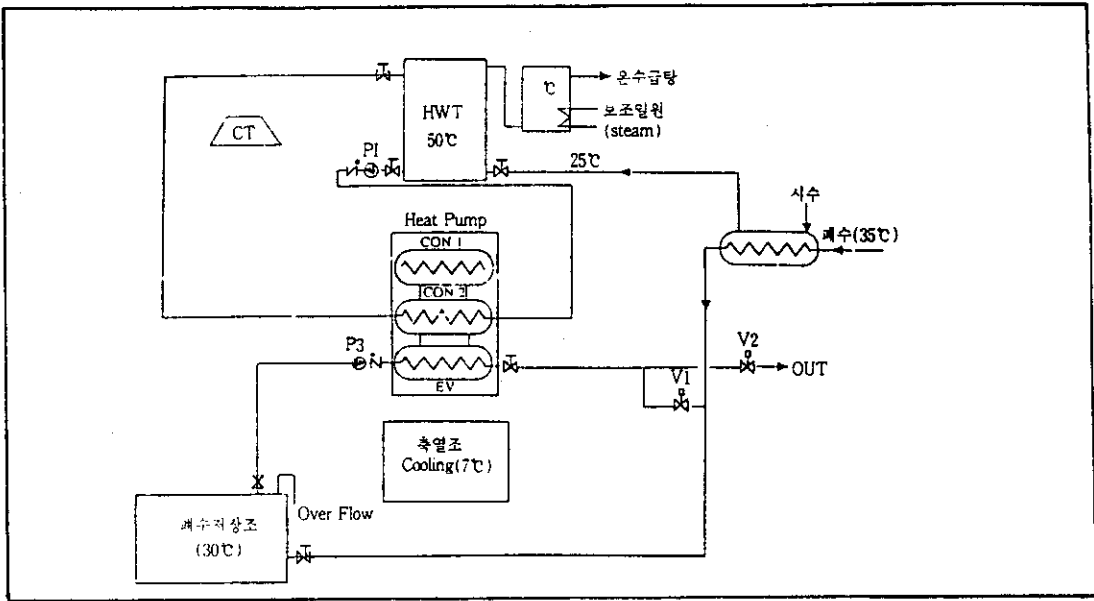


그림 3 물대 물 열교환형 히트펌프 시스템

#### 4.1.2 물 對 공기 열교환형 히트펌프 시스템

지하수 혹은 생활하수, 공장폐수 등의 열원을 사용하여 열을 흡수, 실내공기를 가열하는 방식이다. 실제로 도시하수처리장의 최종처리수의 수온은 겨울에도 5-7도정도를 유지하므로 최대 7도의 온도차를 활용할수 있다. 이와 같은 시스템은 이미 일본, 유럽국가에서 사용되고 있다. 그림4는 수력발전소에서 겨울에 댐으로 부터 터빈에 유입되는 물로부터 열량을 회수하여 난방용으로 사용하는 물대 공기 열교환형 히트펌프시스템의 예를 나타낸것으로 열교환기의 동파를 방지하기 위하여 시스템에 유입되는 물이 열교환기에 살수되도록 되어있다.

### 4.2 공기 열원 방식

#### 4.2.1 공기 對 공기 열교환형 히트펌프

공기열원 히트펌프시스템은 대기중에서 열을 흡수하여 열원으로서 이용하는것으로 대표적으로 가정용 룸에어콘이 있다. 그외 산업용으로 건식재습기의 재생기에서 버려

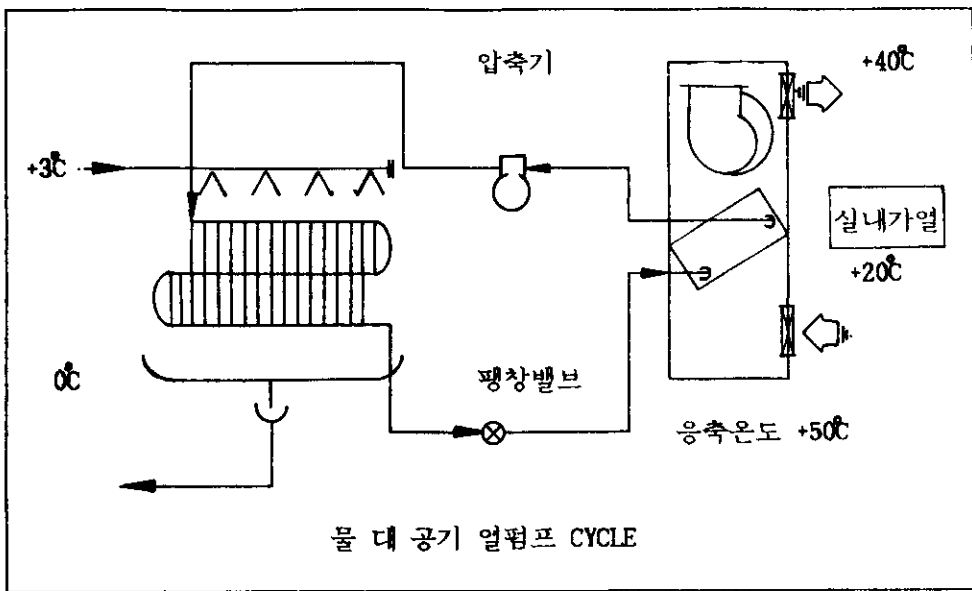


그림 4 물대공기열교환 히트펌프시스템

지는 공기를 이용하여 건조에 재순환되는 공기를 응축기에서 발생하는 열로 예열시키는 방법이다(그림5). 이외 지하철에서 방출되는 열을 난방에 사용할수 있는 방법도 고려될 수 있다.

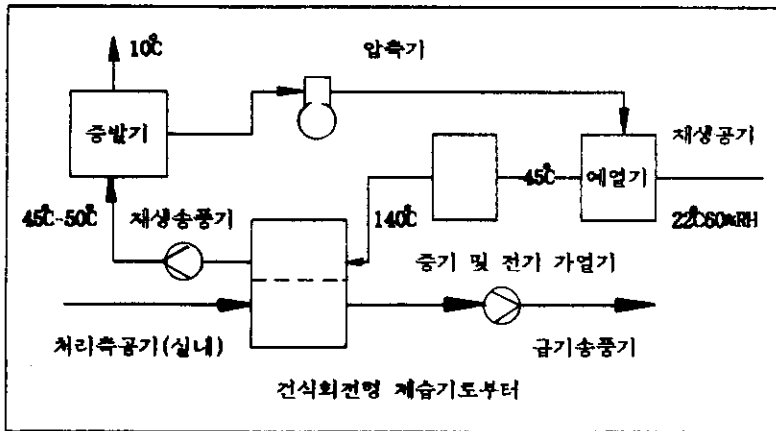


그림 5 건식 회전형 제습 히트펌프

#### 4.2.2 공기 대 물 열교환 히트펌프

열원으로서 공기를 사용하고 물을 가열하는 방식으로써 외기나 대기 중의 열을 흡수하여 물을 가열 난방용 또는 급탕용으로 활용한다. 이방식은 국내에서 이미 실용화된

것으로 한국전력에서 1987년 전남 여수지역에 공기열원 수축열식 열펌프냉난방 시스템을 설치, 운영하여 현재 한전지점 14개소에 설치되어 있다. 시스템의 원리는 냉매회로절환방식을 이용한 것으로 심야에 값싼전력을 이용, 열펌프를 가동하여 여름에는 냉수를 동계에는 온수를 축열조에 저장하고 주간에는 냉수나 온수를 건물부하계통에 순환시켜 냉난방을 한다. 난방을 할 때는 동절기 외기온도가 영하 6도일 때 COP는 1.9, 12도일 때 2.9로서 남부지역이 경제성이 우수한 것으로 알려져 있다.

#### 4.2.3 冷媒對 물 열교환 히트펌프

이시스템은 냉동플랜트에서 응용할수 있는 방식으로 그림6은 냉장창고를 갖춘 도축장에서의 히트펌프시스템을 나타낸다. 여기에 사용된 냉매는 R-12로서 온수출구온도를 60도까지 활용할수 있다.

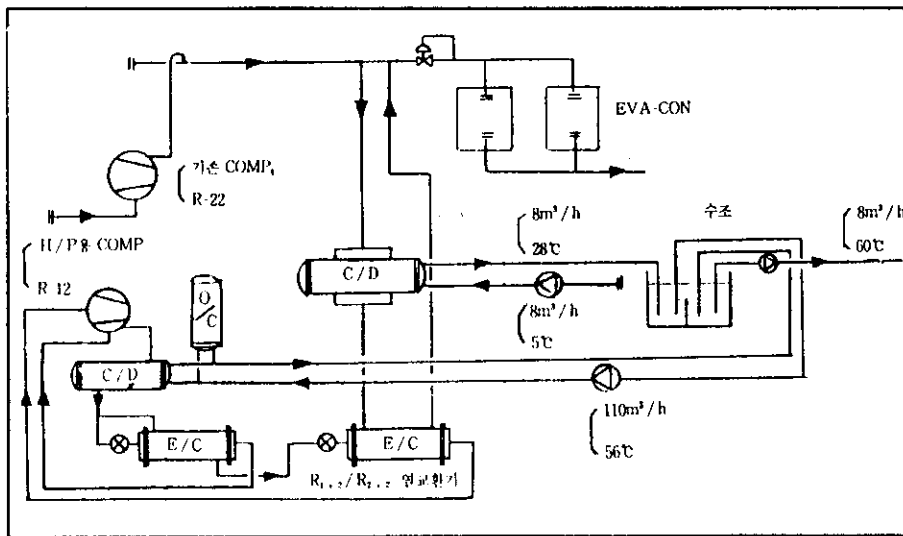


그림 6 냉매對 물 열교환 히트펌프시스템

이외에 열회수 시스템으로 지하수를 열원으로 하는 환원정 히트펌프, 두가지 이상의 열원을 이용한 조합열원시스템, 연소가스(hot gas)로 열을 회수하는 시스템, 응축기에서 공기로 직접 열을 회수하는 시스템 등이 있으며 이중 환원정 히트펌프시스템과 조합열원시스템, 그리고 hot gas 열회수시스템의 개략도를 나타내면 그림7, 그림8, 그림9 와 같으며 현재 사용되고 있거나 개발중인 히트펌프시스템을 용도, 열원, 구동원별로 표3에 나타내었다.

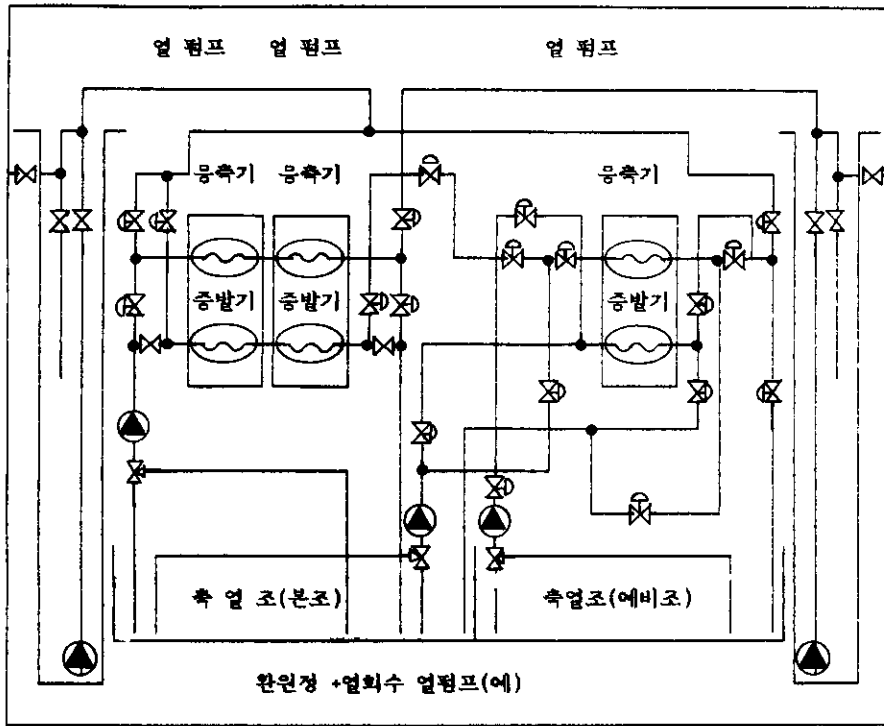


그림 7 완원정 히트펌프시스템

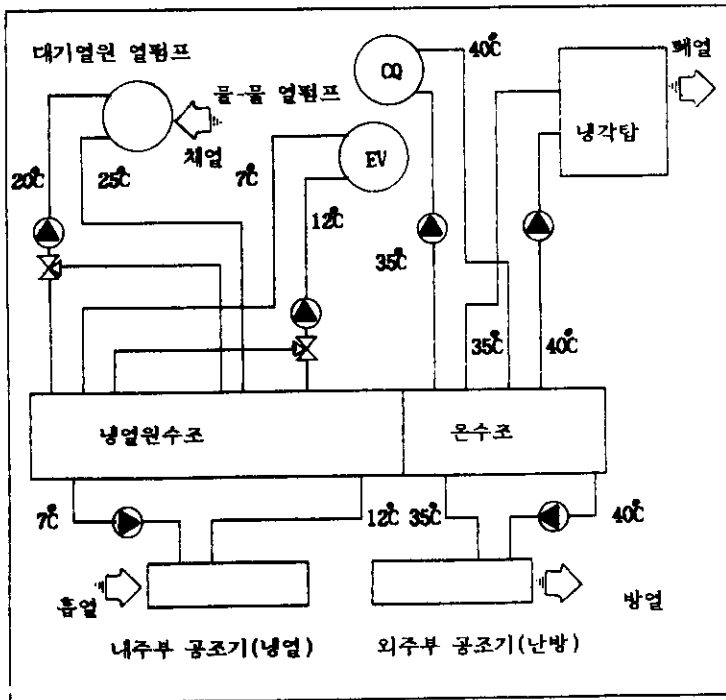


그림 8 조합열원 히트펌프 시스템

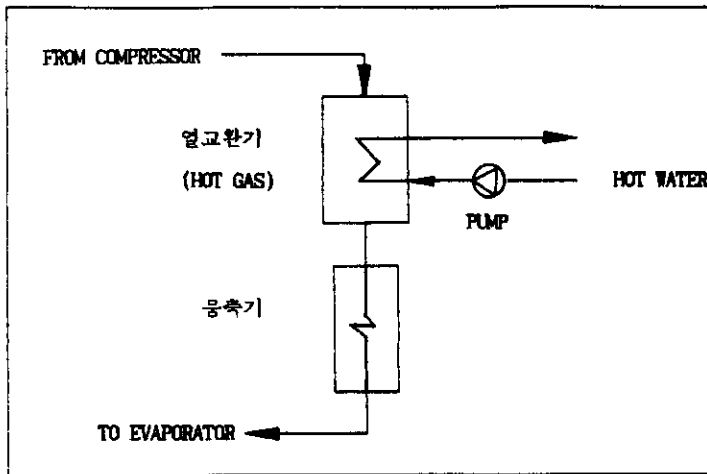


그림 9 hot gas 를 열원으로 하는 히트펌프

| 용도  |            | 열원         |                                      | 열펌프                            |                       | 구동원                                     |                                                 |
|-----|------------|------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 분야  | 용도         | 존제형태       | 종류                                   |                                |                       | 원동기                                     | 에너지원                                            |
| 보전용 | 급탕         | 자연         | 대기<br>대지<br>지표수<br>(호수, 하천)<br>태양열   | 전                              | 자 냉 동<br>기 원 심 식<br>식 | 열전기<br>전동식                              | : 화석연료<br>전기 : 원자력<br>: 수력, 기타                  |
|     | 난방<br>(냉방) |            | 지표수<br>(호수, 하천)<br>태양열               | 스크루식<br>압축기<br>래시프로식<br>(왕복동식) | 내연<br>기관              | 내연식<br>가스터빈<br>(오픈식)                    | 기름<br>가스<br>석탄:<br>대체가스<br>합성중유<br>기타           |
| 산업용 | 프로세스       | 인공<br>(폐열) | 냉방 폐열<br>배수<br>배기<br>증기드레인<br>프로세스 열 | 흡수식 : 단효용<br>: 2중효용            | 동 외<br>연 (클로드식)       | 가스터빈<br>(증기기관<br>스터링기관<br>보일러<br>직접 태움) | 바이오 매스<br>폐 에너지<br>고체폐기물<br>액체폐기물<br>폐가스<br>태양열 |

표3 히트펌프의 용도, 열원, 구동원에 대한 분류

지금까지 살펴본바와 같이 히트펌프는 미사용되거나 폐기되는 열원을 재활용함으로써 에너지절감, 효율적관리에 많은 기여를 하고 있다. 외국에서는 히트펌프에 대한 적극적인 관심으로 열펌프를 이용하는 산업분야의 용도는 첨단기술의 발전과 더욱 확대되고 있다. 유럽지역에서는 히트펌프시스템을 이용한 지역난방도 실용화되어 에너지절약에 많은 기여를 하고 있으며 일본에서는 히트펌프의 개발에 대한 정부의 지원과 국민들의 관심이 커서 단독주택에 히트펌프를 설치, 급탕에서부터 냉, 난방에 까지 이용함으로써 소비전력량을 대폭적으로 감소시키고 있다. 특히 공장에서 히트펌프시스템을 적극 도입, 에너지절약에 따른 생산비절감과 아울러 제품의 가격경쟁력을 향상시키고 있다.

현재 국내에서의 히트펌프개발현황은 선진국에 비하여 매우 뒤떨어져 있는 상태로 열교환기, 압축기, 제어회로설계와 같은 시스템설계기술과 원자재부품기술은 선진국의 기술수준과 비교하여볼때 많은 차이가 있고 특히 밸브와 같은 부품제조기술은 매우 낙후되어 있는 실정이어서 히트펌프에 대한 기술개발현황은 아직 초보단계를 벗어나지 못하고 있다. 따라서 열펌프와 그 기술에 대한 적극적인 홍보, 연구개발, 보급과 연구자금지원이 요구되며 이에대한 정부와 업계의 적극적인 관심이 필요하다.

## 6 참 고 문 헌

- 1) 민만기, 열펌프 보급의 현황과 활성화, 냉동공조기술, Vol. 10, No. 1., 1993
- 2) 히트펌프를 이용한 냉난방 기술현황, 산업기술정보원, 1992. 9
- 3) 축열식 냉난방 시스템의 축열조 최적화 연구, 한국전력공사 기술연구원, 1990. 8
- 4) 이성주, 열원방식에 따른 열펌프의 개발현황, 냉동공조기술, Vol. 10, No. 1., 1993

## 自動制御시스템의 檢出部 설치방법

기계과장   곽 건 영

### 1.   개   요

自動制御시스템 에서 檢出部는 온도, 습도 유량, 압력, 수위등을 감지하는 장치 (sensor 혹은 detector)로 시스템의 制御에 매우 중요하다. 自動制御 시스템의 신뢰성과 효율의 극대화 그리고 경제적 운영여부는 검출부는 설치위치, 장소, 방법등 에 따라서 그 정확도 차이가 있으므로 검출부의 올바른 설치는 제어설비의 정밀도와 에너지의 최적사용에 있어 직접 영향을 미치게 된다. 본글은 검출부의 설치방법과 주의사항을 관련 자료, 檢出器 제조업체 설치 사양을 참조, 기술하였다.

### 2    檢出部の 종류와 설치

#### 2.1    온도검출부

##### 2.1.1   온도검출 素子の 종류

- 1) Thermister ( Thermally Sensitive Resistor ): Thermister란 열에 민감하게 變化하는 금속 산화물저항체로서 온도의 변화에 따라 그저항값이 크게 변화하는 素子이다. 검출용으로 사용되는 Thermister는 다음과 같은것들이 있다.
  - NTC Type : Negative Temperature Coefficient Thermister
  - PTC Type : Positive Temperature Coefficient Thermister
  - CTR Type : Critical Temperature Resistor
- 2) 백금 축온 저항체: 백금축온저항체는 -200--+ 500 °C 의 測溫 영역을 전기 저항의 변화로 바꾸어 안정하고 고정밀 측정을 할수있는 소자이다.
- 3) 열전쌍 ( Thermocouple): 두종류의 다른 金屬에 온도차를 주면 기전력을 발생하는 것을 이용하여 온도를 측정하는 소자이다.

## 2.1.2 溫度 檢出部의 설치방법

### 2.1.2.1 설비배관내의 온도검출부설치

#### (1) 감지장치에 보호관을 설치할때의 주의점

設備배관에 삽입하여 流體의 溫度를 測定할 경우(Immersion Type Temperature Sensing) 일반적으로 사용되는 온도센서를 그대로 插入하여 사용하면 기계적인 진동이나 충격, 부식 에 의하여 수명이 현저하게 짧아지기 때문에 이를 방지 하기위하여 보호관을 사용한다. 그러나 보호관을 사용하면 직접 溫度 檢出을 할때 보다 온도감지 지연 현상이 생기는데 이 지연현상은 보호관 재질의 형태 와 설치방법 등에 의하여 많은 차 이가있으므로 검출시 이를 고려하여야 한다(그림 1 참조).

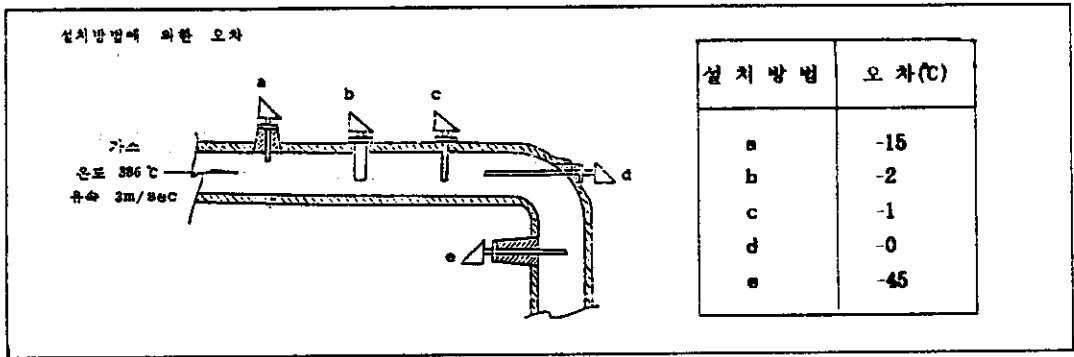


그림 1 보호관의 설치와 온도센서 설치위치에 따른 측정온도의 편차

보호관의 삽입길이는 보호관 外徑의 10-15배 정도를 측정 대상에 삽입하지 않으면 대기의 熱放射에 의해서 정확한 온도를 측정, 계측할수 없게 된다. 보호관을 설비배관에 설치한후 온도검출소자를 보호관 내부에 삽입 하여 설치를 마감하기전 까지 보호관 입구를 풀러그로 막아 먼지, 물 등 이물질이 들어가지 않도록 하여야 한다.

#### (2) Chilled Water Pipe에 보호관 설치방법

Chilled Water Pipe에 보호관을 설치하여 온도를 계측 하는경우 보호관과 온도검출소자 사이에 응축수가 고이고 부식등으로 검출소자의 수명도 짧아진다. 응축수가 증발 하면 보호관과 검출소자 의 표피에 이물질이 부착하여 열전도의 방해로 정확한 온도를 측정할수 없게된다. 따라서 Chilled Water Pipe에 보호관을 설치할때는 보호관의 입구를 수평에서 약간아래로 기울게 설치하여 응축수가 보호관 외부로 흘러 나갈수있도록 설치 하여야한다. 현장의 설비 여건이 상기와 같이 설치하기가 어려운경우에는 보호관

의 내부에 실리콘 grease, 산화 마그네슘이나 SOLCO AC43, DIALA OIL B 등을 채우고 속은 저항체를 삽입하여 설치 하여야한다.

### (3) 설비 배관에 보호관의 설치위치 및 방법

設備配管에 보호관을 설치하는 경우 배관내부의 유체의 흐름이 자유롭고 진동이 없는장소에 설치 하여야한다(그림2 참조)

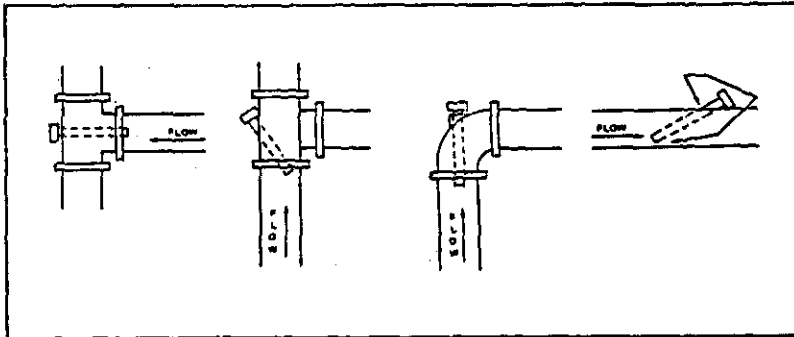


그림 2 보호관의 설치위치

#### 2.1.2.2 室内溫度檢出部

실내온도검출기는 주변 열기기로 부터 직접 열방사에 의한 영향을받지않고 햇빛에 노출 되지않는 장소에 설치하며 설치높이는 실내의 공기 대류가 활발한 바닥으로 부터 1.52m 의 위치에 설치한다.

#### 2.1.2.3 덕트 内部 溫度 檢出部의 설치

온도검출기의 민감한 stem부분이 충분히 덕트 내부에 삽입이 되어 흐르는 공기의 온도를 感知 할수있어야하며 방사열원 으로부터 직접적인 영향을 받지 않게 Heating Coil에서 최소 2m 이상 거리를 두고설치 하여야 하고 Cooling Coil에서는 최소한 50mm 이상 거리를두고 설치 하여야한다.

### 2.2 濕度 計測을 위한 檢出部의 종류와 설치방법

#### 2.2.1 .濕度 檢出 素子の 종류.

습도의 측정과 제어는 습도의 변화에 따라 저항값이 변하는 저항체 (humiserum)를

이용, 상대습도를 측정, 제어하는 방법과 Humidistat과 같이 毛髮을 이용하는 방법이 있다. 露點 制御를 위하여 염화 리튬을 사용한다

### 2.2.2 . 濕度 檢出部의 설치방법

#### 1) 덕트형 습도검출부 설치

덕트에 습도검출기를 설치하는 경우 덕트의 굴곡, 분기가심한곳은 공기의 흐름이 측류와 난류로 인하여 충분한 습도의 檢出이 어렵게된다. 따라서 濕度 검출기는 덕트 내부의 유체흐름이 고른 위치에 설치하는 것이 바람직하다.

#### 2) 室內濕度檢出器의 설치

실내습도검출기의 위치는 실내온도검출기의 위치와 같다.

### 2.2.3 濕度 檢出器 설치시 주의사항

(가) 습도 검출기의 검출 소자는 먼지 응축된 물방울 등에 의해서 쉽게 손상되므로 검출기를 설치 한후 설치 마지막 작업까지 비닐백등 으로 충분히 보호 해야 한다.

(나) 먼지가 많은 장소에서 사용하는 경우 여과효과가 있는 천으로 덮어 씌우면 보관이 용이하다. 그리고 풍속이 1.5m/sec. 이상의 장소에서는 덮개를 씌워 사용하면 좋다.

(다) DC 터스터를 사용하면 檢出 素子가 화학적인 전기분해에 의하여 습도검출기에 손상이 되므로 테스터 사용시에 주의를 하여야한다.

(라) 濕度 검출기에 먼지가 많이 부착하게 되면 감지오차가 심하여 計測이 불가능 해진다. 이런경우 검출기의 덮개를 열고 건조하고 부드러운 솔을 사용하여 먼지를 제거한다. 물이나 세척제로 검출기를 닦아내면 검출기의 사용이 불가능 해지므로 특히 주의를 해야한다.

### 2.3 . 流量 계측을 위한 檢出器의 종류와 설치방법

유량검출기는 베르누이의 정리를 응용한 압력차 유량계가 기체, 액체의 유량측정에 가장 많이 사용되며 容積式流量檢出器도 구조가 비교적 간단하여 현장에서의 유량 판독 용 으로 많이 사용된다. 전도성 액체나 점도가 높은 유량에는 초음파 유량檢出器가 사용된다.

### 2.3.1 압력차를 이용한 流量檢出과 설치

압력차를 이용한 유량계에서는 유체가 오리피스, 벤츨리관이나 피토관(Pitot Tube)을 통과할때 발생하는 압력차이를 트랜스미터에서 전기적인 값으로 변화시켜 수치로 나타내는 장치이다.

#### (가) 오리피스와 트랜스미터의 설치

##### (a) 물의 측정

물을 측정할때는 그림3 과 같이 배관의 水平 部分에서 유량검출기를 연결 하여야 한다. 이와 같이 하면 공기가 트랜스미터의 도압배관 으로 流入되지 않아 공기로인하여 순간적인 壓力변화로 인한 hunting을 防止 할수있다. 만일 배관의 아래 部分에서 트랜스미터의 도압배관을 연결 하게되면 관속을통과하는 물속에 이물질이 도압배관속으로 流入 되어 막히게 되므로 정확한 유량의 計測을 할수 없게된다.

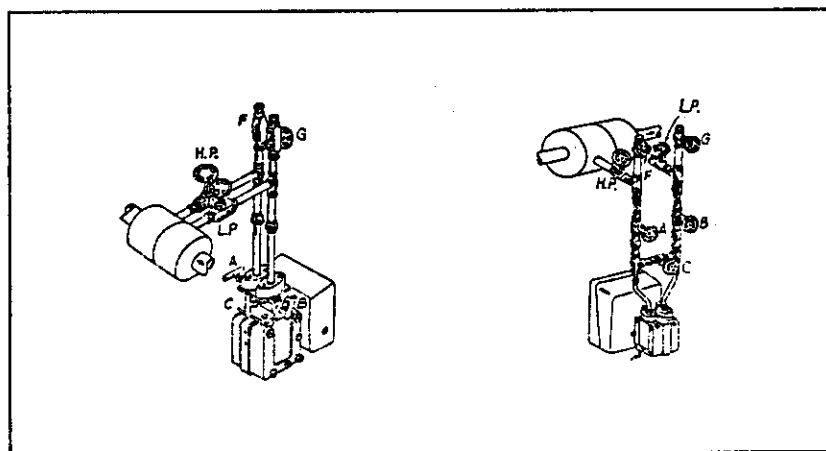


그림 3 물의 양을 측정하기 위한 유량검출부의 설치

##### (b) 蒸氣量 측정

증기양 측정을 위하여 그림4 와 같이 배관의 상단부분에서 도압배관을하여 高溫의 응축수가 도압배관으로 流入 되지않도록 하여야한다 그리고 도압배관 사이에는 condensing pot를 설치하여 高溫의 蒸氣熱이 트랜스미터로 전달되어 압력차 檢出 素子가 파손되지 않도록 하여야한다.

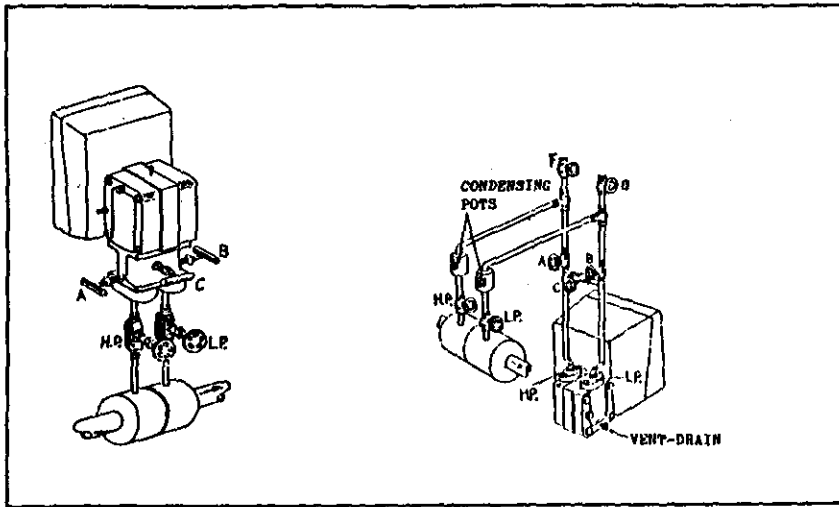


그림 4 증기양 측정을 위한 검출부의 설치

(나) FMS (Flow Measure System)

FMS는 덕트를 통과하는 유량을 피토관(Pitot Tube)를 이용하여 測定하는 장치로 그림5와 같은 모양의 구조이다. 유체가 덕트 内部를 통과할때 덕트 內 中心部를 통과하는 유체의 速度는 덕트면과 접하는 부분의 유체 速度 보다 빠르므로 평균유속을 計測하기 위하여 피토관 전면에 격자가 설치 되어있다(그림 5).

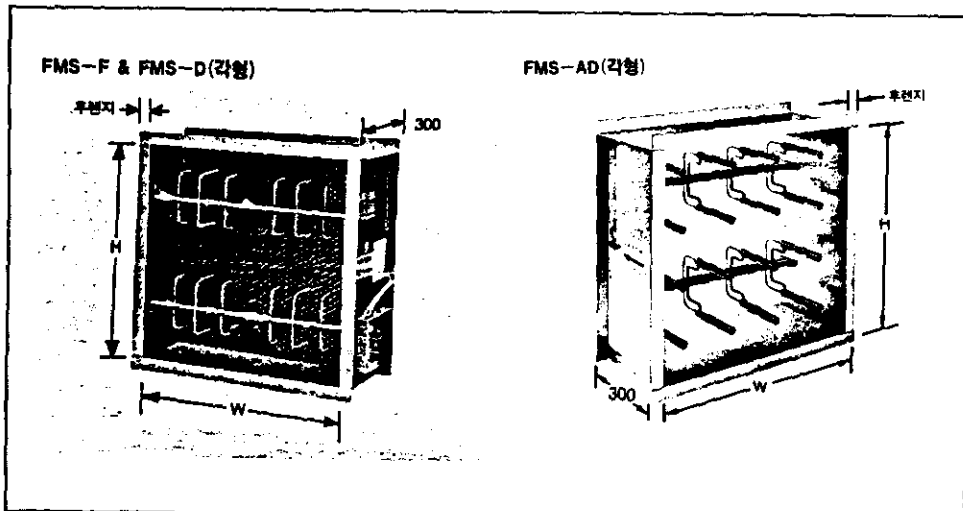
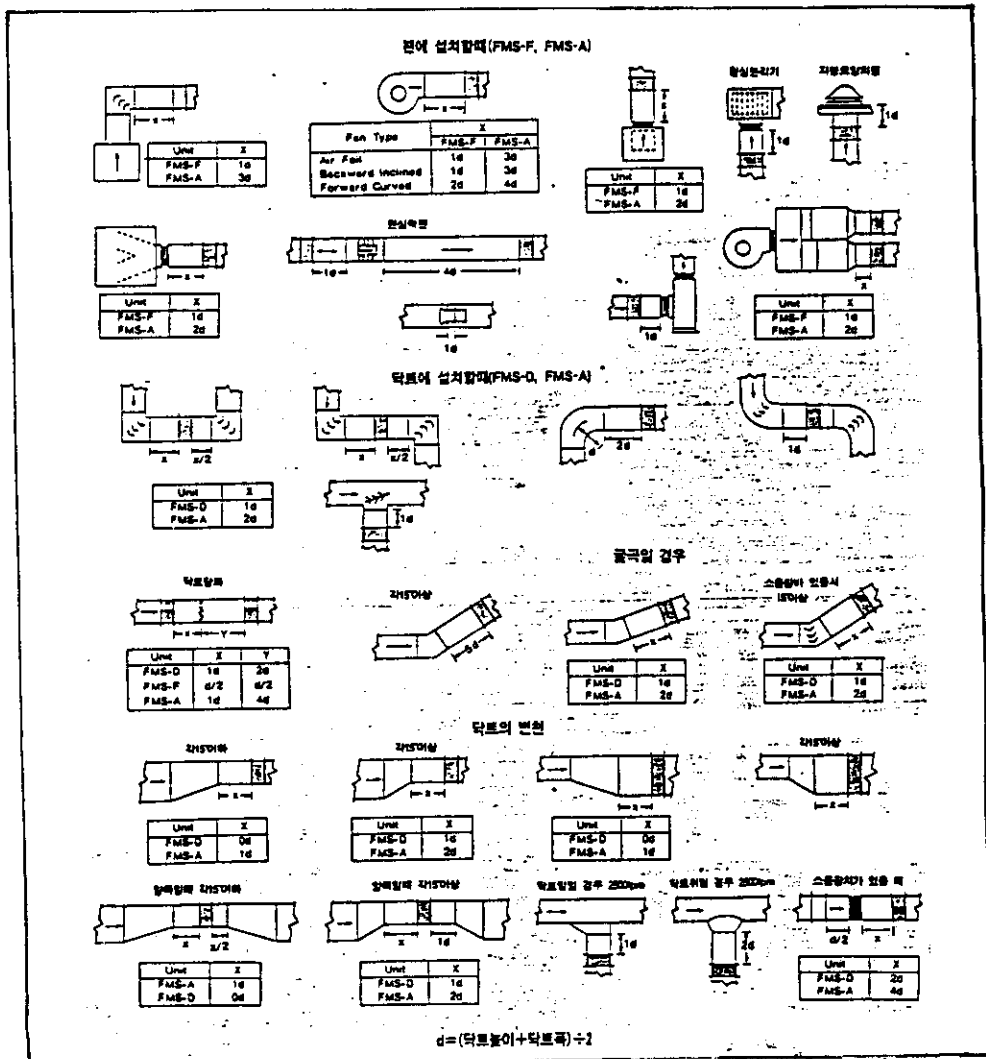


그림 5 FMS의 구조

FMS에서 발생된 압력차의 측정을 위하여 외경 1/4인치 정도의 관으로 트랜스미터와 도압배관을 하는데 고압측의 배관 사이에는 여과기를 사용하여 덕트内部의 먼지가 트랜스미터의 감지부로 流入 되는것을 防止 하여야한다. 감지부가 박막형은 여과기를 설치하지 않는다. 압력이 트랜스미터사용범위를 벗어나게 되면 檢出 素子를 파손 시키게 되므로 사용시 주의하여야 한다. 트랜스미터의 설치 위치는 가능한 FMS 로 부터 가까운 위치에 설치하되 진동이있는 장소는 피하여 설치 하여야한다. 덕트에 설치되는 FMS는 설치 위치에 따라 計測 精確도에 많은 차이가있다. 가능한 분기점 이나 굴곡 부분을 피하여 수평의 직관부분의 중간 지점에 설치 하는 것이 가장 바람직하다. 그림6은 FMS의 설치시 최소거리를 나타낸것이다.



### 2.3.2 .容積式 流量檢出

용적식 유량 檢出에는 회전자가 impeller형과 root형이 널리 사용되고 있다. 유량 측정은 회전자가 유체의 흐름에 의해서 회전할때 회전자의 회전수를측정하여 유량을 측정 할수있으며 유량의 적산도 가능하다. 容積式 流量檢出器는 배관의 굴곡과 좁아지는 부분을 피하여 직관의 중심부분에 수평으로 설치 하여야한다.설치위치는 일반적으로 배관의 단면적 방향에서의 유속의 안정을 위하여 유량검출기 설치위치의 상류측에서 관지름의 10배, 하류측에서 5배 정도의 직관부가 필요하다.

### 2.3.3. 초음파 유량 檢出器

유체중에 초음파를 發信하면 초음파의 電波速度가 유속과 벡터의 합으로 되는 것을 이용한 유량검출 방법으로 전파시간차, Beam Swift, Doppler Swift등의 계측 방법이 있다. 초음파유량검출기는 초음파 발신 素子와 기체의 밀도차의 크기에 따르는 반사의 증대 그리고 高溫 에서의 초음파 감쇠에 따르는 문제점 때문에 증기유량측정에는 실용화 되지 않고있다. 초음파식 유량檢出은 유체와 비접촉이며 측정용 probe를 배관의 외부에 裝置 하기 때문에 이미 설치된 배관에서 사용할수 있고 壓力의 손실이없는 장점있다. 관내 유속의 안정을 위하여 배관의 단면적 방향에서의 유량 검출기 설치 위치의 상류측에서 관지름의 10배, 하류측에서 5배 정도의 직관부가 필요하다.

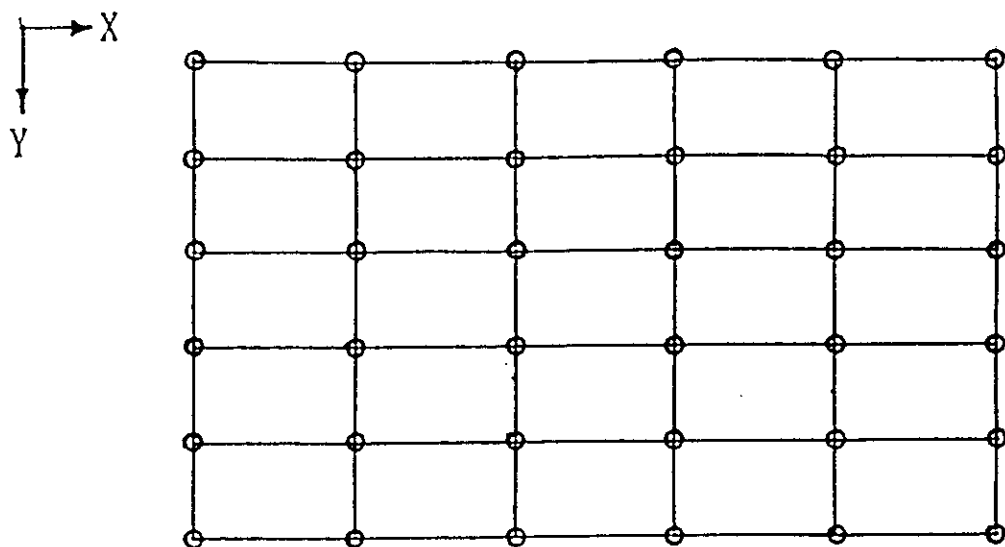
## 콘크리트구조물의 SPAN 길이에 따른 공사비 산출

건축설계부

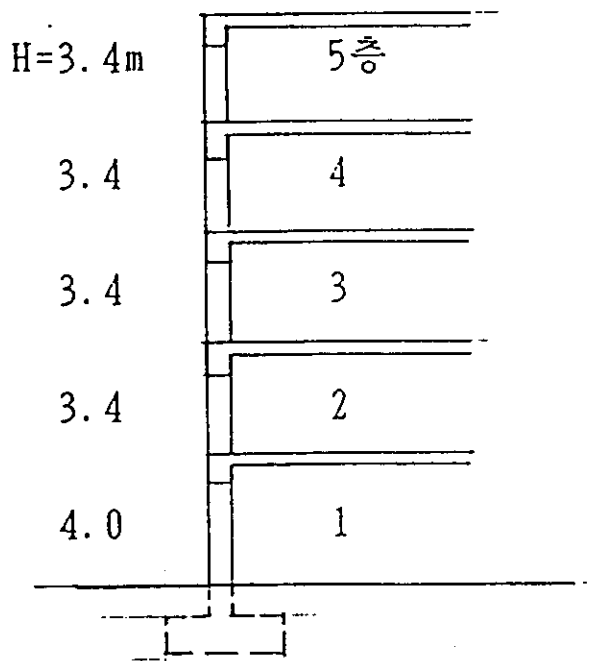
본자료는 철근콘크리트건물설계시 스패의 길이에 따른 각 부재(슬래브, 보, 기둥, 기초)가 차지하는 비율과 단위면적당의 공사비산출을 도표화 한것이다. 도표의 사용법을 설명하기 위하여 철근콘크리트조의 5층건물을 예로 하였으며 설계조건은 다음과 같다.

### 1. 설계조건

#### 1.1 평면및 단면



건물의 평면 (X,Y 각방향 5 SPAN)



건물의 단면

## 1.2 하중

### 1.2.1 외 벽

|                 |                                                  |
|-----------------|--------------------------------------------------|
| 1) 벽돌 (0.5 B)   | $190.0 \text{ kg/m}^2$                           |
| 2) 단열재          | $5.0 \text{ kg/m}^2$                             |
| 3) 시멘트 블록 (4")  | $150.0 \text{ kg/m}^2$                           |
| 4) 몰탈바름 (25 mm) | $50.0 \text{ kg/m}^2$                            |
| <hr/>           |                                                  |
| 계               | $: 395.0 \text{ kg/m}^2 (=400.0 \text{ kg/m}^2)$ |

### 1.2.2 내 벽

|                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| 1) 시멘트 블록 (6")     | $220.0 \text{ kg/m}^2$ |
| 2) 몰탈바름 (20mm, 2회) | $80.0 \text{ kg/m}^2$  |
| <hr/>              |                        |
| 계                  | $: 300 \text{ kg/m}^2$ |

주) 외벽및 내벽은 모든 girder위에 쌓이는것으로 한다.

### 1. 2. 3 지붕층 슬라브

|                       |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| 1) 누름콘크리트(두께 50.0 mm) | 120.0 kg/m <sup>2</sup>   |
| 2) 방 수                | 10.0 kg/m <sup>2</sup>    |
| 3) 고르기 몰탈             | 60.0 kg/m <sup>2</sup>    |
| 4) 슬라브 (두께 120 mm)    | 290.0 kg/m <sup>2</sup>   |
| 5) 천정 + utility       | 30.0 kg/m <sup>2</sup>    |
| <hr/>                 |                           |
| 계                     | : 510.0 kg/m <sup>2</sup> |

### 1. 2. 4 기동층 슬라브

|                     |                         |
|---------------------|-------------------------|
| 1) 마감 몰탈 (두께 25 mm) | 50.0 kg/m <sup>2</sup>  |
| 2) 슬라브 (두께 120 mm)  | 290.0 kg/m <sup>2</sup> |
| 3) 천정 + utility     | 30.0 kg/m <sup>2</sup>  |
| <hr/>               |                         |
| 계                   | : 370 kg/m <sup>2</sup> |

1. 2. 5 지붕층 L.L : 100.0 kg/m<sup>2</sup>

기준층 L.L : 250 kg + 100 kg = 350 kg

1. 2. 6 바닥, 지진하중 : 고려하지 않았음

## 2. 사용재료, 단가, 물량계산, 응력해석

### 2. 1 철근및 콘크리트

- 콘크리트  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$

- 철 근  $f'g = 4,000 \text{ kg/cm}^2$

### 2. 2 공사비 단가

- form work : 5,500원/m<sup>2</sup>,

- 콘크리트공사: 34,000 원/m<sup>2</sup>

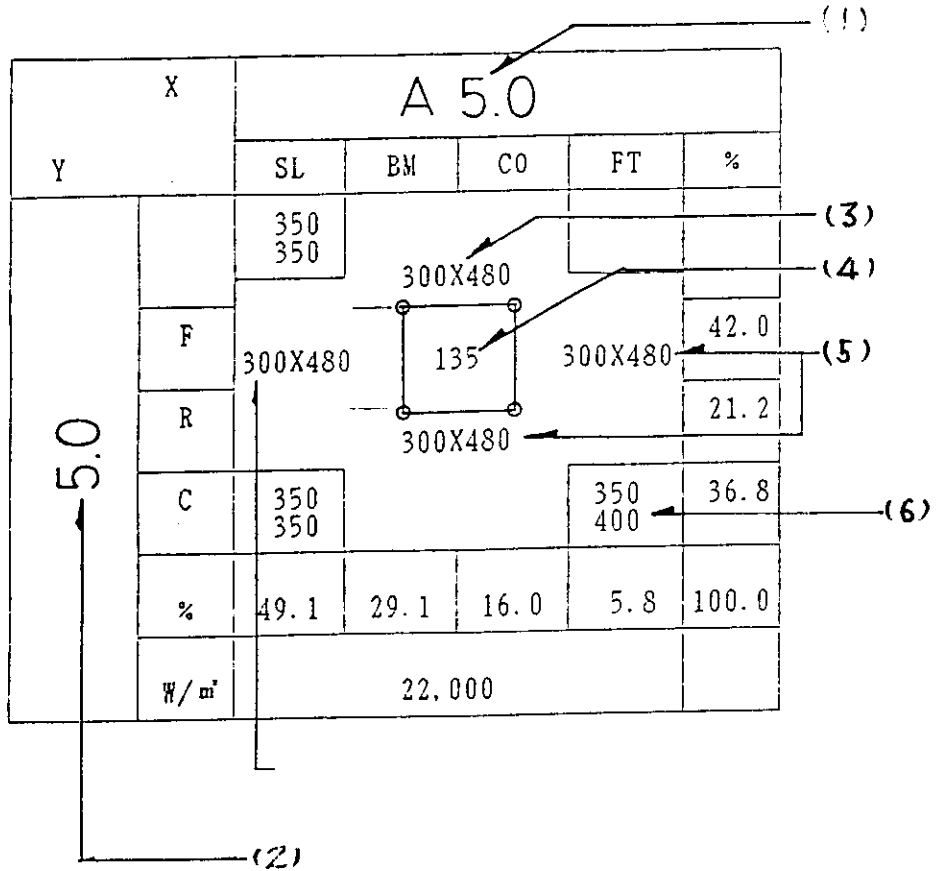
- Re-Bar : 300,000원/톤 (5%의 손실 고려)

2. 3 물량계산은 물량계산용 프로그램인 BEAMQTY, COLQTY, SLABQTY를 사용하였고 물량에  
는 지하실이나 계단이 포함되지 않았으므로 실제 공사에서는 물량의 5-10% 추가를

고려해야 한다.

2.4 frame 응력해석은 sub-frame해석프로그램과 ACI 318-83에 의하였고 부재설계는 부재 설계용 프로그램인 ACIBEAM, ACICOLI, ACIFOOT를 이용하였다.

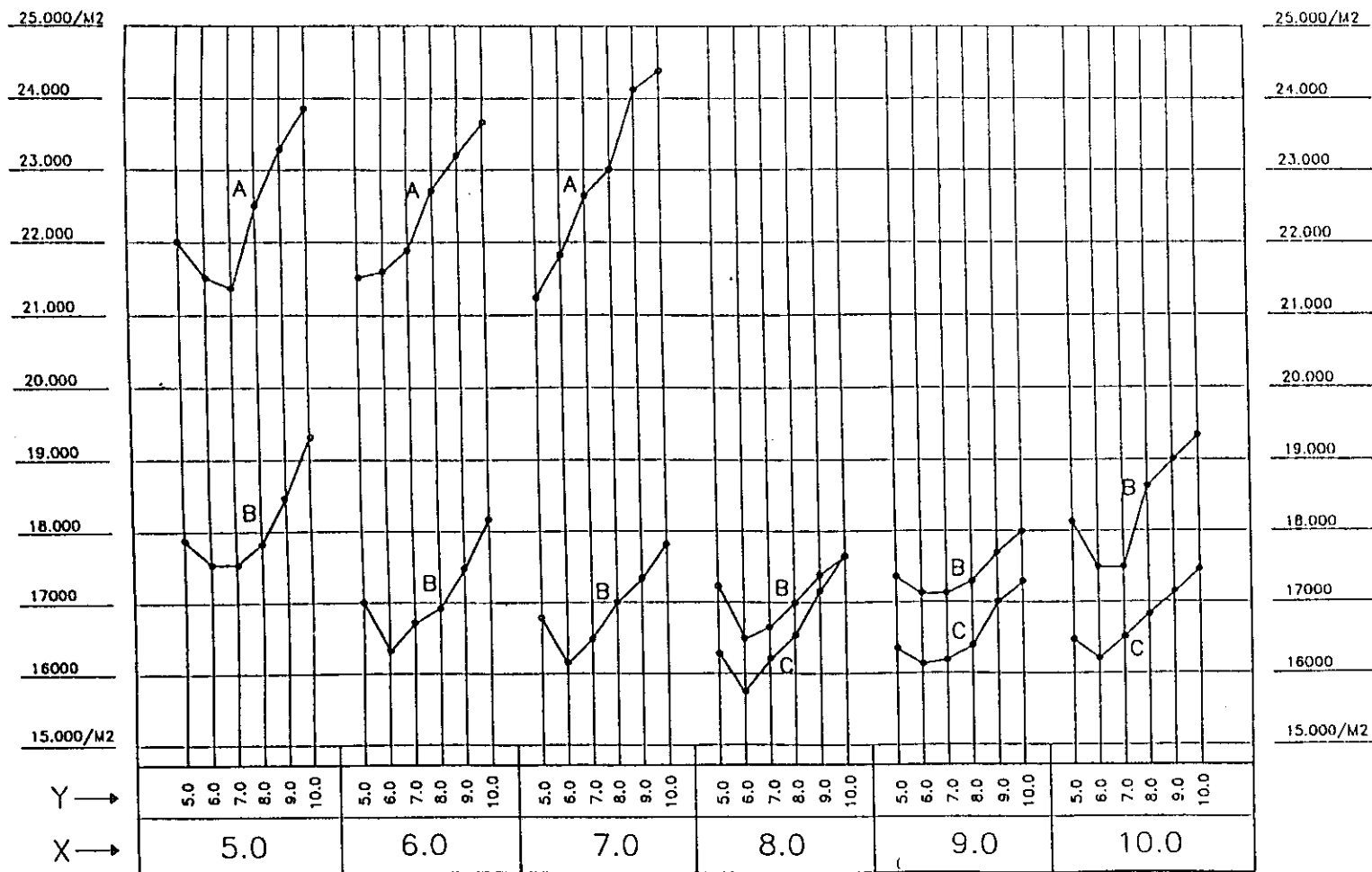
### 3 공사비산출법



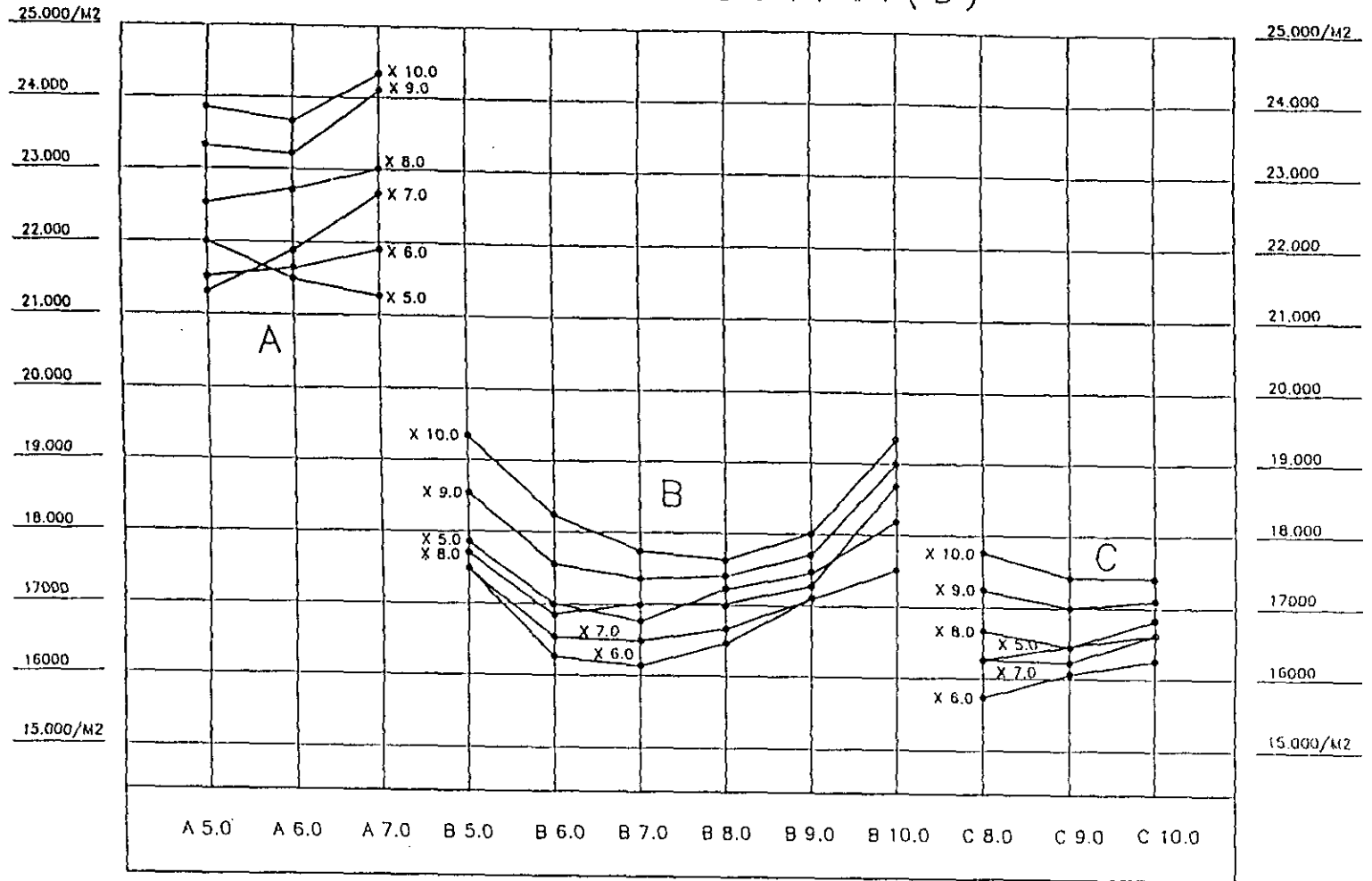
SL : SLAB, BM : BEAM+GIRDER, CO : COLUMN, FT : FOOTING, F : FORM  
R : RE-BAR, C : CONCRETE % : 각공사가 차지하는 공사비율(%)

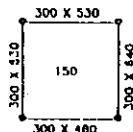
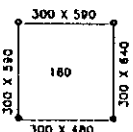
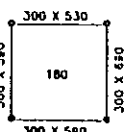
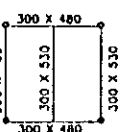
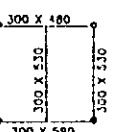
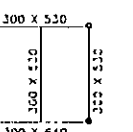
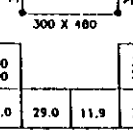
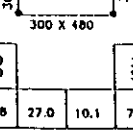
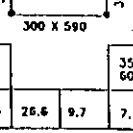
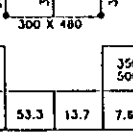
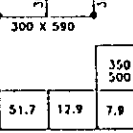
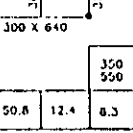
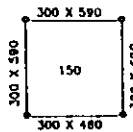
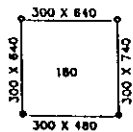
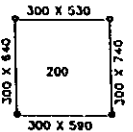
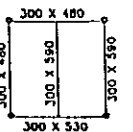
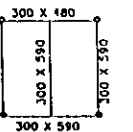
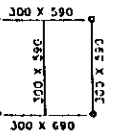
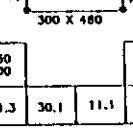
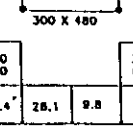
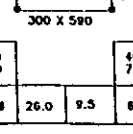
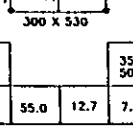
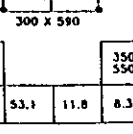
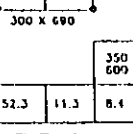
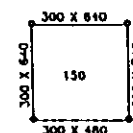
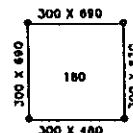
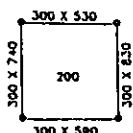
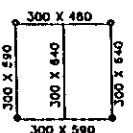
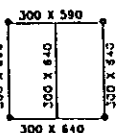
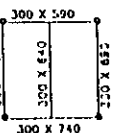
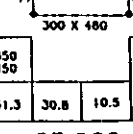
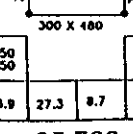
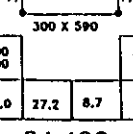
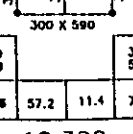
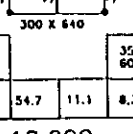
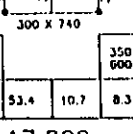
- 1) X방향 스패의 길이 (5.0 m, A type)
- 2) Y방향 스패의 길이 (5.0 m)
- 3) 기준층 외곽보의 길이 (300x480 mm)
- 4) 슬래브 두께 (135 mm, \*표시가 없는 슬래브는 120 mm)
- 5) 기준층 내부보의 크기 (단위:mm)
- 6) 각층의 기둥크기 (350: 5층 기둥크기 350X350 mm,  
400: 1층 기둥크기 400X400 mm)

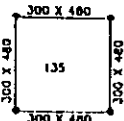
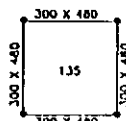
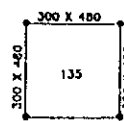
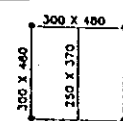
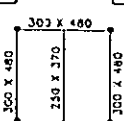
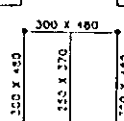
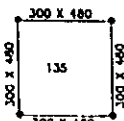
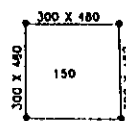
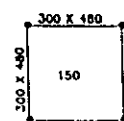
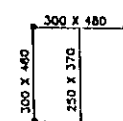
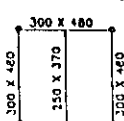
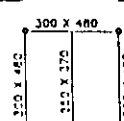
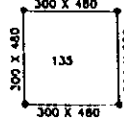
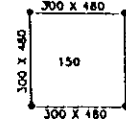
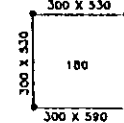
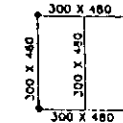
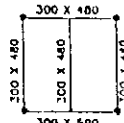
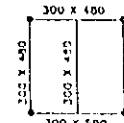
SPAN 변화에 따른 구조물 공사비 대비 ( A )



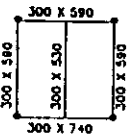
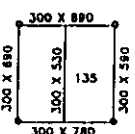
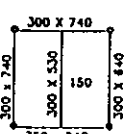
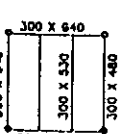
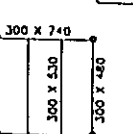
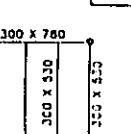
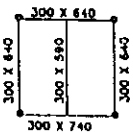
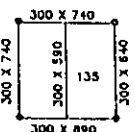
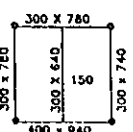
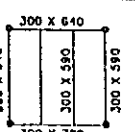
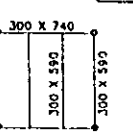
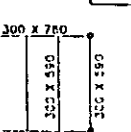
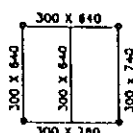
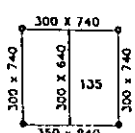
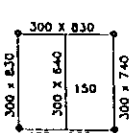
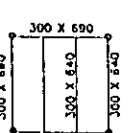
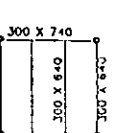
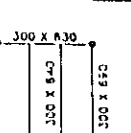
SPAN 변화에 따른 구조물 공사비 대비 ( B )



| Y \ X |                  | A 5.0                                                                               |      |      |            |       | A 6.0                                                                               |      |      |            |       | A 7.0                                                                               |      |     |            |       | B 5.0                                                                                 |      |      |            |       | B 6.0                                                                                 |      |      |            |       | B 7.0                                                                                 |      |      |            |       |
|-------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|
|       |                  | SL                                                                                  | BM   | CO   | FT         | %     | SL                                                                                  | BM   | CO   | FT         | %     | SL                                                                                  | BM   | CO  | FT         | %     | SL                                                                                    | BM   | CO   | FT         | %     | SL                                                                                    | BM   | CO   | FT         | %     | SL                                                                                    | BM   | CO   | FT         | %     |
| 8.0   |                  | 350<br>350                                                                          |      |      |            |       | 350<br>350                                                                          |      |      |            |       | 400<br>400                                                                          |      |     |            |       | 350<br>350                                                                            |      |      |            |       | 350<br>350                                                                            |      |      |            |       | 350<br>400                                                                            |      |      |            |       |
|       | F                |    |      |      |            | 38.0  |    |      |      |            | 35.9  |    |      |     |            | 35.0  |    |      |      |            | 38.5  |    |      |      |            | 38.1  |    |      |      |            | 36.6  |
|       | R                |    |      |      |            | 25.0  |    |      |      |            | 23.9  |    |      |     |            | 25.3  |    |      |      |            | 27.5  |    |      |      |            | 28.1  |    |      |      |            | 29.2  |
|       | C                | 350<br>400                                                                          |      |      | 350<br>500 | 37.0  | 350<br>450                                                                          |      |      | 350<br>550 | 40.2  | 350<br>450                                                                          |      |     | 350<br>600 | 39.7  | 350<br>400                                                                            |      |      | 350<br>500 | 34.0  | 350<br>400                                                                            |      |      | 350<br>500 | 33.8  | 350<br>450                                                                            |      |      | 350<br>550 | 34.0  |
|       | %                | 52.0                                                                                | 29.0 | 11.9 | 7.1        | 100.0 | 55.8                                                                                | 27.0 | 10.1 | 7.1        | 100.0 | 56.6                                                                                | 26.6 | 9.7 | 7.1        | 100.0 | 25.4                                                                                  | 53.3 | 13.7 | 7.6        | 100.0 | 27.5                                                                                  | 51.7 | 12.9 | 7.9        | 100.0 | 28.6                                                                                  | 50.8 | 12.4 | 8.3        | 100.0 |
|       | W/W <sup>2</sup> | 22.500                                                                              |      |      |            |       | 22.700                                                                              |      |      |            |       | 23.000                                                                              |      |     |            |       | 17.800                                                                                |      |      |            |       | 16.900                                                                                |      |      |            |       | 17.000                                                                                |      |      |            |       |
| 9.0   |                  | 350<br>400                                                                          |      |      |            |       | 350<br>400                                                                          |      |      |            |       | 400<br>450                                                                          |      |     |            |       | 350<br>350                                                                            |      |      |            |       | 350<br>400                                                                            |      |      |            |       | 400<br>400                                                                            |      |      |            |       |
|       | F                |    |      |      |            | 36.8  |    |      |      |            | 35.2  |    |      |     |            | 33.1  |    |      |      |            | 37.8  |    |      |      |            | 37.4  |    |      |      |            | 36.7  |
|       | R                |    |      |      |            | 26.5  |    |      |      |            | 25.1  |    |      |     |            | 26.0  |    |      |      |            | 28.3  |    |      |      |            | 28.4  |    |      |      |            | 29.3  |
|       | C                | 350<br>400                                                                          |      |      | 350<br>550 | 34.7  | 350<br>450                                                                          |      |      | 350<br>600 | 39.7  | 400<br>500                                                                          |      |     | 400<br>700 | 40.9  | 350<br>400                                                                            |      |      | 350<br>500 | 33.9  | 350<br>450                                                                            |      |      | 350<br>550 | 34.2  | 400<br>500                                                                            |      |      | 350<br>600 | 34.0  |
|       | %                | 51.3                                                                                | 30.1 | 11.1 | 7.5        | 100.0 | 55.4                                                                                | 28.1 | 9.8  | 6.7        | 100.0 | 57.8                                                                                | 26.0 | 9.5 | 6.9        | 100.0 | 24.6                                                                                  | 55.0 | 12.7 | 7.7        | 100.0 | 28.8                                                                                  | 53.1 | 11.8 | 8.3        | 100.0 | 28.0                                                                                  | 52.3 | 11.3 | 8.4        | 100.0 |
|       | W/W <sup>2</sup> | 23.300                                                                              |      |      |            |       | 23.200                                                                              |      |      |            |       | 24.100                                                                              |      |     |            |       | 18.500                                                                                |      |      |            |       | 17.500                                                                                |      |      |            |       | 17.300                                                                                |      |      |            |       |
| 10.0  |                  | 350<br>400                                                                          |      |      |            |       | 400<br>400                                                                          |      |      |            |       | 450<br>450                                                                          |      |     |            |       | 350<br>350                                                                            |      |      |            |       | 350<br>400                                                                            |      |      |            |       | 400<br>450                                                                            |      |      |            |       |
|       | F                |   |      |      |            | 35.8  |   |      |      |            | 34.9  |   |      |     |            | 33.1  |   |      |      |            | 37.0  |   |      |      |            | 36.8  |   |      |      |            | 36.3  |
|       | R                |  |      |      |            | 27.7  |  |      |      |            | 25.7  |  |      |     |            | 25.5  |  |      |      |            | 29.1  |  |      |      |            | 29.2  |  |      |      |            | 29.9  |
|       | C                | 350<br>450                                                                          |      |      | 350<br>600 | 36.5  | 350<br>450                                                                          |      |      | 350<br>600 | 39.4  | 400<br>500                                                                          |      |     | 350<br>700 | 41.4  | 350<br>450                                                                            |      |      | 350<br>550 | 33.9  | 350<br>450                                                                            |      |      | 350<br>600 | 34.0  | 400<br>500                                                                            |      |      | 350<br>600 | 33.8  |
|       | %                | 51.3                                                                                | 30.8 | 10.5 | 7.4        | 100.0 | 58.9                                                                                | 27.3 | 8.7  | 7.1        | 100.0 | 57.0                                                                                | 27.2 | 8.7 | 7.1        | 100.0 | 23.8                                                                                  | 57.2 | 11.4 | 7.8        | 100.0 | 25.9                                                                                  | 54.7 | 11.1 | 8.3        | 100.0 | 27.6                                                                                  | 53.4 | 10.7 | 8.3        | 100.0 |
|       | W/W <sup>2</sup> | 23.900                                                                              |      |      |            |       | 23.700                                                                              |      |      |            |       | 24.400                                                                              |      |     |            |       | 19.300                                                                                |      |      |            |       | 18.200                                                                                |      |      |            |       | 17.800                                                                                |      |      |            |       |

| Y \ X |                  | A 5.0                                                                              |      |      |            |       |      | A 6.0                                                                              |      |      |            |       |      | A 7.0                                                                              |      |      |            |       |      | B 5.0                                                                                |      |      |            |       |      | B 6.0                                                                                |      |      |            |       |      | B 7.0                                                                                |      |      |            |       |      |            |  |  |  |  |  |
|-------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|------|------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|------|------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|------|------------|--|--|--|--|--|
|       |                  | SL                                                                                 | BM   | CO   | FT         | %     |      | SL                                                                                 | BM   | CO   | FT         | %     |      | SL                                                                                 | BM   | CO   | FT         | %     |      | SL                                                                                   | BM   | CO   | FT         | %     |      | SL                                                                                   | BM   | CO   | FT         | %     |      | SL                                                                                   | BM   | CO   | FT         | %     |      |            |  |  |  |  |  |
| 5.0   |                  | 350<br>350                                                                         |      |      |            |       |      | 350<br>350                                                                         |      |      |            |       |      | 350<br>350                                                                         |      |      |            |       |      | 350<br>350                                                                           |      |      |            |       |      | 350<br>350                                                                           |      |      |            |       |      | 350<br>350                                                                           |      |      |            |       |      | 350<br>350 |  |  |  |  |  |
|       | F                |   |      |      |            |       | 12.0 |   |      |      |            |       | 11.2 |   |      |      |            |       | 10.4 |   |      |      |            |       | 11.5 |   |      |      |            |       | 10.8 |   |      |      |            |       | 10.0 |            |  |  |  |  |  |
|       | R                |                                                                                    |      |      |            |       | 21.8 |                                                                                    |      |      |            |       | 22.3 |                                                                                    |      |      |            |       | 23.3 |                                                                                      |      |      |            |       | 24   |                                                                                      |      |      |            |       | 25.4 |                                                                                      |      |      |            |       | 25.8 |            |  |  |  |  |  |
|       | C                | 350<br>350                                                                         |      |      | 350<br>400 | 38.2  |      | 350<br>350                                                                         |      |      | 350<br>400 | 38.5  |      | 350<br>350                                                                         |      |      | 350<br>450 | 38.3  |      | 350<br>350                                                                           |      |      | 350<br>400 | 34.5  |      | 350<br>350                                                                           |      |      | 350<br>400 | 34.0  |      | 350<br>350                                                                           |      |      | 350<br>450 | 34.6  |      |            |  |  |  |  |  |
|       | %                | 48.1                                                                               | 29.1 | 18.0 | 5.8        | 100.0 | %    | 50.0                                                                               | 28.7 | 14.7 | 6.8        | 100.0 | %    | 51.3                                                                               | 29.4 | 12.5 | 6.8        | 100.0 | %    | 25.3                                                                                 | 48.3 | 19.3 | 7.1        | 100.0 | %    | 27.1                                                                                 | 48.0 | 17.5 | 7.4        | 100.0 | %    | 27.3                                                                                 | 48.2 | 15.8 | 8.7        | 100.0 |      |            |  |  |  |  |  |
|       | w/m <sup>2</sup> | 22.000                                                                             |      |      |            |       |      | 21.500                                                                             |      |      |            |       |      | 21.300                                                                             |      |      |            |       |      | 17.900                                                                               |      |      |            |       |      | 17.000                                                                               |      |      |            |       |      | 16.800                                                                               |      |      |            |       |      |            |  |  |  |  |  |
| 6.0   |                  | 350<br>350                                                                         |      |      |            |       |      | 350<br>350                                                                         |      |      |            |       |      | 350<br>350                                                                         |      |      |            |       |      | 350<br>350                                                                           |      |      |            |       |      | 350<br>350                                                                           |      |      |            |       |      | 350<br>350                                                                           |      |      |            |       |      | 350<br>350 |  |  |  |  |  |
|       | F                |   |      |      |            |       | 11.2 |   |      |      |            |       | 10.8 |   |      |      |            |       | 10.4 |   |      |      |            |       | 10.2 |   |      |      |            |       | 10.1 |   |      |      |            |       | 10.0 |            |  |  |  |  |  |
|       | R                |                                                                                    |      |      |            |       | 22.3 |                                                                                    |      |      |            |       | 23.8 |                                                                                    |      |      |            |       | 25.8 |                                                                                      |      |      |            |       | 25.6 |                                                                                      |      |      |            |       | 34.1 |                                                                                      |      |      |            |       | 26.7 |            |  |  |  |  |  |
|       | C                | 350<br>350                                                                         |      |      | 350<br>400 | 38.5  |      | 350<br>400                                                                         |      |      | 350<br>500 | 37.4  |      | 350<br>400                                                                         |      |      | 350<br>500 | 36.8  |      | 350<br>350                                                                           |      |      | 350<br>450 | 34.2  |      | 350<br>350                                                                           |      |      | 350<br>450 | 25.8  |      | 350<br>400                                                                           |      |      | 350<br>500 | 34.0  |      |            |  |  |  |  |  |
|       | %                | 50.0                                                                               | 28.7 | 14.7 | 8.8        | 100.0 | %    | 54.3                                                                               | 25.9 | 12.8 | 7.0        | 100.0 | %    | 55.2                                                                               | 28.1 | 11.6 | 7.1        | 100.0 | %    | 26.0                                                                                 | 49.0 | 17.0 | 8.0        | 100.0 | %    | 28.6                                                                                 | 47.5 | 15.8 | 8.0        | 100.0 | %    | 29.8                                                                                 | 47.8 | 14.4 | 8.0        | 100.0 |      |            |  |  |  |  |  |
|       | w/m <sup>2</sup> | 21.500                                                                             |      |      |            |       |      | 21.600                                                                             |      |      |            |       |      | 21.900                                                                             |      |      |            |       |      | 17.500                                                                               |      |      |            |       |      | 16.300                                                                               |      |      |            |       |      | 16.100                                                                               |      |      |            |       |      |            |  |  |  |  |  |
| 7.0   |                  | 350<br>350                                                                         |      |      |            |       |      | 350<br>350                                                                         |      |      |            |       |      | 400<br>400                                                                         |      |      |            |       |      | 350<br>350                                                                           |      |      |            |       |      | 350<br>350                                                                           |      |      |            |       |      | 350<br>350                                                                           |      |      |            |       |      | 350<br>350 |  |  |  |  |  |
|       | F                |  |      |      |            |       | 10.4 |  |      |      |            |       | 10.0 |  |      |      |            |       | 10.0 |  |      |      |            |       | 10.0 |  |      |      |            |       | 10.0 |  |      |      |            |       | 10.0 |            |  |  |  |  |  |
|       | R                |                                                                                    |      |      |            |       | 23.3 |                                                                                    |      |      |            |       | 25.8 |                                                                                    |      |      |            |       | 24.1 |                                                                                      |      |      |            |       | 25.8 |                                                                                      |      |      |            |       | 26.2 |                                                                                      |      |      |            |       | 28.2 |            |  |  |  |  |  |
|       | C                | 350<br>400                                                                         |      |      | 350<br>450 | 38.3  |      | 350<br>400                                                                         |      |      | 350<br>500 | 38.8  |      | 450<br>450                                                                         |      |      | 350<br>550 | 40.1  |      | 350<br>350                                                                           |      |      | 350<br>450 | 34.6  |      | 350<br>400                                                                           |      |      | 350<br>500 | 34.5  |      | 350<br>450                                                                           |      |      | 350<br>550 | 33.8  |      |            |  |  |  |  |  |
|       | %                | 51.3                                                                               | 29.4 | 12.5 | 8.8        | 100.0 | %    | 55.2                                                                               | 26.1 | 11.8 | 7.1        | 100.0 | %    | 56.3                                                                               | 28.2 | 10.8 | 8.9        | 100.0 | %    | 25.8                                                                                 | 51.6 | 15.1 | 7.7        | 100.0 | %    | 27.7                                                                                 | 50.8 | 14.0 | 7.7        | 100.0 | %    | 29.3                                                                                 | 49.8 | 13.1 | 8.0        | 100.0 |      |            |  |  |  |  |  |
|       | w/m <sup>2</sup> | 21.300                                                                             |      |      |            |       |      | 21.900                                                                             |      |      |            |       |      | 22.600                                                                             |      |      |            |       |      | 17.500                                                                               |      |      |            |       |      | 16.700                                                                               |      |      |            |       |      | 16.500                                                                               |      |      |            |       |      |            |  |  |  |  |  |

| Y   | X    | B 8.0      |      |      |            |       | B 9.0      |      |      |            |       | B 10.0     |      |      |            |       | C 8.0      |      |      |            |       | C 9.0      |      |      |            |       | C 10.0     |      |      |            |       |
|-----|------|------------|------|------|------------|-------|------------|------|------|------------|-------|------------|------|------|------------|-------|------------|------|------|------------|-------|------------|------|------|------------|-------|------------|------|------|------------|-------|
|     |      | SL         | BM   | CO   | FT         | %     | SL         | BM   | CO   | FT         | %     | SL         | BM   | CO   | FT         | %     | SL         | BM   | CO   | FT         | %     | SL         | BM   | CO   | FT         | %     | SL         | BM   | CO   | FT         | %     |
| 5.0 |      | 350<br>350 |      |      |            |       | 350<br>350 |      |      |            |       | 400<br>400 |      |      |            |       | 350<br>350 |      |      |            |       | 350<br>350 |      |      |            |       | 400<br>400 |      |      |            |       |
|     | F    |            |      |      |            |       |            |      |      |            |       |            |      |      |            |       |            |      |      |            |       |            |      |      |            |       |            |      |      |            |       |
|     | R    |            |      |      |            | 38.9  |            |      |      |            | 37.7  |            |      |      |            | 36.4  |            |      |      |            | 38.2  |            |      |      |            | 36.8  |            |      |      |            | 36.8  |
|     | C    | 350<br>400 |      |      | 350<br>500 | 33.9  | 350<br>400 |      |      | 350<br>500 | 34.1  | 400<br>450 |      |      | 350<br>600 | 34.7  | 350<br>400 |      |      | 350<br>500 | 33.6  | 400<br>400 |      |      | 350<br>500 | 34.3  | 450<br>450 |      |      | 350<br>550 | 33.6  |
|     | %    | 27.3       | 48.2 | 15.8 | 8.7        | 100.0 | 28.9       | 48.7 | 13.2 | 8.2        | 100.0 | 30.0       | 48.8 | 12.9 | 8.3        | 100.0 | 18.5       | 58.7 | 14.8 | 8.0        | 100.0 | 18.8       | 58.6 | 13.9 | 8.7        | 100.0 | 18.8       | 58.8 | 13.8 | 8.5        | 100.0 |
|     | w/m² | 17.200     |      |      |            |       | 17.400     |      |      |            |       | 18.100     |      |      |            |       | 16.300     |      |      |            |       | 16.400     |      |      |            |       | 16.500     |      |      |            |       |
| 6.0 |      | 350<br>350 |      |      |            |       | 400<br>400 |      |      |            |       | 400<br>400 |      |      |            |       | 350<br>350 |      |      |            |       | 400<br>400 |      |      |            |       | 400<br>400 |      |      |            |       |
|     | F    |            |      |      |            |       |            |      |      |            |       |            |      |      |            |       |            |      |      |            |       |            |      |      |            |       |            |      |      |            |       |
|     | R    |            |      |      |            | 38.1  |            |      |      |            | 37.3  |            |      |      |            | 36.8  |            |      |      |            | 37.5  |            |      |      |            | 36.2  |            |      |      |            | 35.7  |
|     | C    | 350<br>400 |      |      | 350<br>550 | 33.9  | 400<br>450 |      |      | 350<br>550 | 34.2  | 500<br>500 |      |      | 350<br>600 | 35.8  | 350<br>400 |      |      | 350<br>550 | 33.7  | 400<br>450 |      |      | 350<br>550 | 33.4  | 500<br>500 |      |      | 350<br>600 | 33.5  |
|     | %    | 28.8       | 48.8 | 13.2 | 8.1        | 100.0 | 28.9       | 48.3 | 12.4 | 8.4        | 100.0 | 30.6       | 48.7 | 12.1 | 8.6        | 100.0 | 19.5       | 57.9 | 13.9 | 8.7        | 100.0 | 19.3       | 58.3 | 13.4 | 9.0        | 100.0 | 19.4       | 58.5 | 12.9 | 8.2        | 100.0 |
|     | w/m² | 16.500     |      |      |            |       | 17.100     |      |      |            |       | 17.500     |      |      |            |       | 15.700     |      |      |            |       | 16.100     |      |      |            |       | 16.200     |      |      |            |       |
| 7.0 |      | 350<br>500 |      |      |            |       | 400<br>400 |      |      |            |       | 400<br>450 |      |      |            |       | 400<br>400 |      |      |            |       | 400<br>400 |      |      |            |       | 400<br>450 |      |      |            |       |
|     | F    |            |      |      |            |       |            |      |      |            |       |            |      |      |            |       |            |      |      |            |       |            |      |      |            |       |            |      |      |            |       |
|     | R    |            |      |      |            | 37.4  |            |      |      |            | 35.8  |            |      |      |            | 35.4  |            |      |      |            | 37.1  |            |      |      |            | 36.2  |            |      |      |            | 35.7  |
|     | C    | 400<br>450 |      |      | 350<br>550 | 34.1  | 450<br>500 |      |      | 350<br>600 | 35.1  | 500<br>500 |      |      | 350<br>700 | 36.2  | 400<br>450 |      |      | 350<br>600 | 34.8  | 450<br>500 |      |      | 350<br>600 | 34.8  | 500<br>500 |      |      | 350<br>700 | 35.0  |
|     | %    | 28.9       | 49.5 | 12.2 | 8.4        | 100.0 | 30.8       | 48.7 | 11.8 | 8.7        | 100.0 | 31.0       | 48.7 | 11.5 | 8.8        | 100.0 | 18.7       | 58.8 | 12.8 | 8.7        | 100.0 | 19.0       | 59.7 | 12.1 | 9.2        | 100.0 | 19.2       | 60.0 | 11.9 | 8.8        | 100.0 |
|     | w/m² | 16.500     |      |      |            |       | 17.100     |      |      |            |       | 17.500     |      |      |            |       | 16.300     |      |      |            |       | 16.200     |      |      |            |       | 16.500     |      |      |            |       |

| Y    | X   | B 8.0                                                                              |      |      |            |       | B 9.0                                                                              |      |      |            |       | B 10.0                                                                              |      |      |            |       | C 8.0                                                                                |      |      |            |       | C 9.0                                                                                |      |      |            |       | C 10.0                                                                               |      |      |            |       |
|------|-----|------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------|-------|
|      |     | SL                                                                                 | BM   | CO   | FT         | %     | SL                                                                                 | BM   | CO   | FT         | %     | SL                                                                                  | BM   | CO   | FT         | %     | SL                                                                                   | BM   | CO   | FT         | %     | SL                                                                                   | BM   | CO   | FT         | %     | SL                                                                                   | BM   | CO   | FT         | %     |
| 8.0  |     | 400<br>400                                                                         |      |      |            |       | 400<br>450                                                                         |      |      |            |       | 450<br>450                                                                          |      |      |            |       | 350<br>400                                                                           |      |      |            |       | 400<br>450                                                                           |      |      |            |       | 400<br>450                                                                           |      |      |            |       |
|      | F   |   |      |      |            | 36.4  |   |      |      |            | 35.1  |   |      |      |            | 33.7  |   |      |      |            | 36.5  |   |      |      |            | 35.9  |   |      |      |            | 34.6  |
|      | R   |                                                                                    |      |      | 30.0       |       |                                                                                    |      |      | 30.2       |       |                                                                                     |      |      | 29.4       |       |                                                                                      |      |      | 28.9       |       |                                                                                      |      |      | 29.7       |       |                                                                                      |      |      | 30.5       |       |
|      | C   | 400<br>500                                                                         |      |      | 350<br>800 | 33.8  | 450<br>500                                                                         |      |      | 350<br>700 | 34.7  | 500<br>550                                                                          |      |      | 350<br>700 | 36.9  | 450<br>500                                                                           |      |      | 350<br>600 | 34.6  | 450<br>500                                                                           |      |      | 350<br>700 | 34.4  | 450<br>500                                                                           |      |      | 350<br>700 | 34.9  |
|      | %   | 29.8                                                                               | 50.5 | 11.4 | 8.3        | 100.0 | 31.0                                                                               | 49.0 | 11.3 | 8.7        | 100.0 | 31.8                                                                                | 47.3 | 10.8 | 10.3       | 100.0 | 18.3                                                                                 | 60.8 | 12.0 | 8.8        | 100.0 | 18.9                                                                                 | 60.8 | 11.4 | 8.9        | 100.0 | 18.9                                                                                 | 61.6 | 10.4 | 9.1        | 100.0 |
|      | W/M | 17.000                                                                             |      |      |            |       | 17.300                                                                             |      |      |            |       | 18.600                                                                              |      |      |            |       | 16.600                                                                               |      |      |            |       | 16.400                                                                               |      |      |            |       | 16.800                                                                               |      |      |            |       |
| 9.0  |     | 400<br>450                                                                         |      |      |            |       | 400<br>450                                                                         |      |      |            |       | 400<br>450                                                                          |      |      |            |       | 400<br>450                                                                           |      |      |            |       | 400<br>450                                                                           |      |      |            |       | 400<br>450                                                                           |      |      |            |       |
|      | F   |   |      |      |            | 35.7  |   |      |      |            | 34.9  |   |      |      |            | 33.0  |   |      |      |            | 35.9  |   |      |      |            | 35.5  |   |      |      |            | 34.5  |
|      | R   |                                                                                    |      |      | 30.8       |       |                                                                                    |      |      | 29.8       |       |                                                                                     |      |      | 30.1       |       |                                                                                      |      |      | 29.6       |       |                                                                                      |      |      | 29.0       |       |                                                                                      |      |      | 30.3       |       |
|      | C   | 400<br>500                                                                         |      |      | 350<br>800 | 33.5  | 450<br>450                                                                         |      |      | 350<br>700 | 35.3  | 450<br>500                                                                          |      |      | 350<br>800 | 36.9  | 450<br>500                                                                           |      |      | 350<br>700 | 34.5  | 450<br>550                                                                           |      |      | 350<br>700 | 35.5  | 450<br>550                                                                           |      |      | 350<br>700 | 35.2  |
|      | %   | 29.3                                                                               | 51.5 | 10.8 | 8.4        | 100.0 | 29.3                                                                               | 51.5 | 10.8 | 8.4        | 100.0 | 31.4                                                                                | 48.5 | 9.7  | 10.4       | 100.0 | 17.8                                                                                 | 62.4 | 11.1 | 8.7        | 100.0 | 18.3                                                                                 | 62.6 | 10.3 | 8.8        | 100.0 | 18.7                                                                                 | 62.4 | 9.7  | 9.2        | 100.0 |
|      | W/M | 17.400                                                                             |      |      |            |       | 17.700                                                                             |      |      |            |       | 19.000                                                                              |      |      |            |       | 17.200                                                                               |      |      |            |       | 17.000                                                                               |      |      |            |       | 17.100                                                                               |      |      |            |       |
| 10.0 |     | 400<br>450                                                                         |      |      |            |       | 400<br>450                                                                         |      |      |            |       | 400<br>500                                                                          |      |      |            |       | 400<br>450                                                                           |      |      |            |       | 400<br>450                                                                           |      |      |            |       | 450<br>500                                                                           |      |      |            |       |
|      | F   |  |      |      |            | 35.6  |  |      |      |            | 34.3  |  |      |      |            | 31.9  |  |      |      |            | 35.4  |  |      |      |            | 34.8  |  |      |      |            | 34.3  |
|      | R   |                                                                                    |      |      | 30.5       |       |                                                                                    |      |      | 30.7       |       |                                                                                     |      |      | 31.7       |       |                                                                                      |      |      | 30.3       |       |                                                                                      |      |      | 30.1       |       |                                                                                      |      |      | 30.5       |       |
|      | C   |                                                                                    |      |      | 350<br>700 | 33.8  | 450<br>600                                                                         |      |      | 350<br>700 | 35.0  | 450<br>600                                                                          |      |      | 400<br>800 | 38.4  | 450<br>500                                                                           |      |      | 350<br>700 | 34.3  | 450<br>550                                                                           |      |      | 350<br>700 | 35.1  | 450<br>600                                                                           |      |      | 350<br>800 | 35.2  |
|      | %   | 28.8                                                                               | 52.4 | 10.2 | 8.8        | 100.0 | 30.3                                                                               | 50.8 | 9.6  | 9.4        | 100.0 | 31.5                                                                                | 48.9 | 9.1  | 10.5       | 100.0 | 17.4                                                                                 | 64.1 | 10.0 | 8.5        | 100.0 | 18.0                                                                                 | 63.3 | 9.7  | 9.0        | 100.0 | 18.3                                                                                 | 63.0 | 9.6  | 9.1        | 100.0 |
|      | W/M | 17.700                                                                             |      |      |            |       | 18.000                                                                             |      |      |            |       | 19.400                                                                              |      |      |            |       | 17.700                                                                               |      |      |            |       | 17.400                                                                               |      |      |            |       | 17.400                                                                               |      |      |            |       |