# บทที่ 2
# ทฤษฎีการสร้างเครื่องมือ "Electrol"

## 2.1 คุณสมบัติของ Molding Sand[1]

ส่วนประกอบที่สำคัญของ molding sand คือ $SiO_2$, clay และน้ำ นอกจากนั้นยังมีวัสดุอื่นผสมอีกเล็กน้อยเพื่อให้ได้คุณสมบัติดีขึ้น

ทราย ทรายมีผสมอยู่ใน molding sand ระหว่าง 50 ถึง 95 เปอร์เซนต์ของวัสดุทั้งหมด ส่วนประกอบทางเคมีของทรายที่ใช้ในการหล่อตังแสดงในตารางที่ 2.1 ทรายที่ดีที่สุดประกอบด้วย $SiO_2$ ถึง 99.8 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของทราย ที่ใช้เป็น molding sand

| Constituents % | Washed silica sand | Washed and dried silica | Typical bank sand | Western bentonite bonded silica sand | | Typical lake sand |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | New | Used | |
| Loss on ignition | - | - | 1.02 | 0.28 | 0.12 | 0.80 |
| C | - | - | - | 0.13 | 0.59 | - |
| Free ion | - | - | - | - | 0.97 | - |
| Ferrous ion | - | - | - | 0.44 | 0.68 | - |
| Ferric ion | - | - | - | 0.00 | 0.12 | - |
| Total ion | 0.10 | - | - | 0.44 | 1.77 | - |
| $Al_2O_3$ | 0.39 | - | - | 1.32 | 0.63 | - |
| $SiO_2$ | 99.08 | 99.80 | 92.09 | 95.79 | 95.54 | 95.0 |
| $TiO_2$ | 0.43 | - | - | - | - | - |
| Total $Al_2O_3$+ $Fe_2O_3$ | - | - | 6.09 | - | - | 2.0 |
| CaO | - | - | 0.58 | - | - | 0.60 |
| Alkali | - | - | - | - | - | 0.20 |
| MgO | - | - | 0.22 | - | - | 0.40 |

(1) Heine and Rosenthal, Principle of Metal Casting pp. 81-83

ทรายตามที่แสดงในตารางที่ 2.1 นี้เป็นทรายที่ใช้อยู่ในต่างประเทศ คือ

Washed silica sand ใช้ที่ New Jersey Silica Sand Co.

Washed and dried silica เป็นทรายของ Ottawa Silica Sand

Typical bank sand ใช้ที่ Great Lake Sand Co.,Juniata

Clay clay จะประกอบอยู่ใน molding sand ตั้งแต่ 2 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะช่วยให้ molding sand มี strength และ plasticity ดี clay เมื่อผสมกับน้ำที่พอเหมาะจะช่วยให้เกิดการจับตัวระหว่างเม็ดทรายได้ดี

น้ำ น้ำจะผสมอยู่ใน molding sand ตั้งแต่ 1.5 ถึง 8 เปอร์เซนต์เพื่อช่วยให้เกิด plasticity และ strength ดี

## 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับ DIELECTRIC CONSTANT

เนื่องจากว่า dielectric constant ของ dry molding sand มีค่าน้อยกว่า dielectric constant ของน้ำมาก (อัตราส่วนราว 3 : 80) ดังนั้นเมื่อมีความชื้นใน molding sand เพียงเล็กน้อย จะทำให้ dielectric constant เปลี่ยนไปจากเดิมมาก

ความสัมพันธ์ระหว่าง dielectric constant และความชื้นเป็น percentage ของ molding sand มีความสัมพันธ์ตามสมการ

$$M = K (\epsilon_r - \epsilon_{ro}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.1)$$

เมื่อ M = ความชื้นเป็น percentage of wet weight ใน molding sand

K = ค่าconstant ขึ้นอยู่กับชนิดของทราย

$\epsilon_{ro}$ = Relative dielectric constant ของทรายเมื่อไม่มีความชื้น

$\epsilon_r$ = Relative dielectric constant ของทรายเมื่อมีความชื้น

## 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับ Capacitance

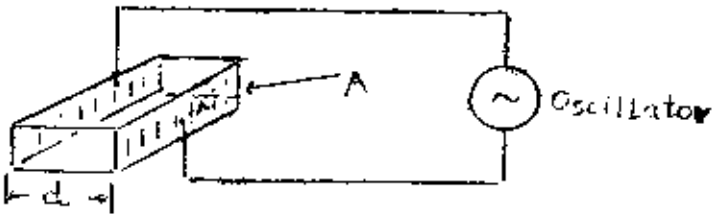
ถ้านำเอา molding sand มาเป็น dielectric ของ parallel plate condenser โดยทำ condenser ให้มีพื้นที่ที่ plate คงที่ และระยะทางระหว่าง plate คงที่ ดูรูปที่ 2.1 จะได้ capacitance ตามสมการ ดังนี้

$$Co = 0.0885\ \varepsilon_{ro}\ \frac{A}{d} \qquad \text{.....(2.2)}$$

เมื่อ Co = capacitance เมื่อไม่มีความชื้นผสมอยู่ เขียนมีหน่วยเป็น pico-farad

A = พื้นที่ของ plate ของ condenser มีหน่วยเป็น $mm^2$

d = ระยะทางระหว่าง plate มีหน่วยเป็น mm.




รูปที่ 2.1 Parallel Plate Condenser

เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น capacitance จะเปลี่ยนไปเป็น C

$$C = 0.0885\ \varepsilon_r\ \frac{A}{d} \qquad \text{.....(2.3)}$$

แทนค่า $\varepsilon_{ro}$ , $\varepsilon_r$ ของสมการ (2.2), (2.3) ในสมการ (2.1) จะได้ความชื้น

$$M = \frac{Kd}{0.0885A}\ (C - Co) \qquad \text{.....(2.4)}$$

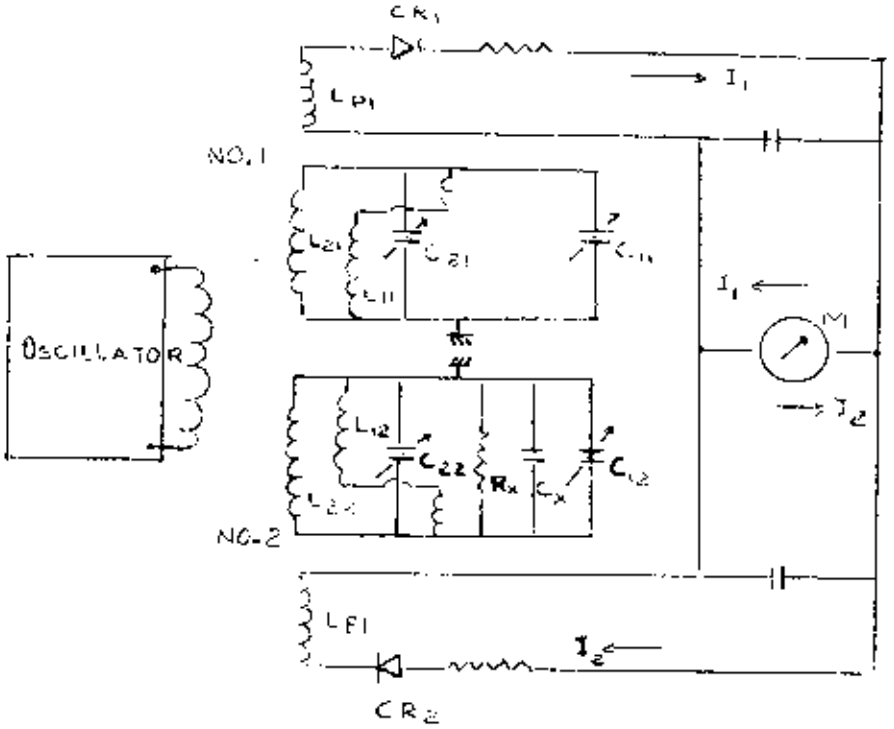
หรือ $M = K_1(C - Co)$ .....(2.5)

เมื่อ $K_1 = Kd/0.0885A$

จากสมการ (2.1),(2.5) ความชื้นจะเปลี่ยนไปตาม dielectric constant ของ molding sand หรือ capacitance ของ plate condenser ที่ใช้ molding sand เป็น dielectric

## 2.4 CIRCUIT ของ MOLDING SAND MOISTURE METER

อาศัยหลักจากสมการ (2.1) หรือ (2.5) ดังกล่าวแล้ว จึงอาจใช้ electronic circuits ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นหลักในการสร้างเครื่องมือวัดความชื้นใน molding sand




รูปที่ 2.2 Circuit ของ Molding Sand Moisture Meter

circuits ประกอบด้วย oscillators และ coupling circuits 2 circuits คือ circuit NO.1และ NO. 2 ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนกันทุกอย่าง คือ $L_{11}=L_{12}$; $C_{11}=C_{12}$; $L_{21}=L_{22}$; $C_{21}=C_{22}$; $L_{P_1}=L_{P_2}$; $C_X$ และ $R_X$ สมมติว่าเป็น capacitance และ resistance ของ condenser ที่ใส่ molding sand เป็น dielectric M เป็น microampere meter ที่จะใช้วัดความชื้น

ขณะที่ $C_X$ และ $R_X$ ยังไม่มีใน circuit NO.2 ถ้า tune $C_{11}=C_{12}$ และ $C_{21}=C_{22}$ กระแส $I_1$ ซึ่งเกิดจาก coil $L_{P_1}$ จะเท่ากับกระแส $I_2$ ซึ่งเกิดจาก coil $L_{P_2}$ ดังนั้น microampere meter จะอ่านค่าเป็นศูนย์ เพราะว่า $I_1$ และ $I_2$ ไหลสวนทางกัน เมื่อเอา $C_X$, $R_X$ มาขนานกับ $C_{12}$ ของ circuit NO.2 จะทำให้เกิด $I_2$ เปลี่ยนค่าไปจากเดิม อาจจะน้อยหรือมากก็ได้ ดังนั้น microampere meter หรือ moisture meter จะอ่านค่าผลต่างออกมา ผลต่างจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชื้นภายใน molding sand ที่จะวัด เพราะฉะนั้นสามารถใช้วัดความชื้นได้ติดต่อกันทุกระยะที่ความชื้นของ molding sand เปลี่ยนไป

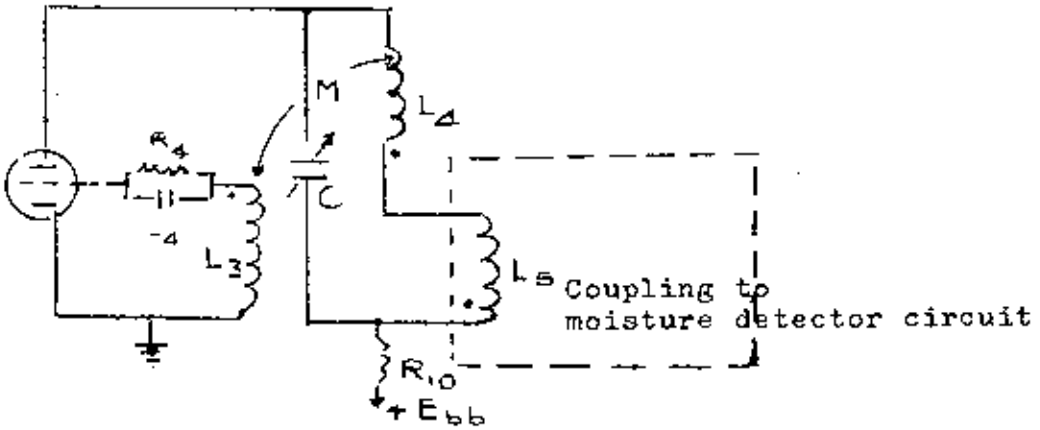
## 2.5 การ DESIGN ค่าต่าง ๆ ของ CIRCUIT ของ ELECTROL

### 2.5.1 DESIGN OSCILLATOR

ในการออกแบบวงจร กำหนดให้ oscillator generate output voltage ราว 30 volts (peak to peak) ที่ frequency ประมาณ 1Mc. (megacycles per second) และแบบ Tuned plate oscillator[1] ตามรูปที่ 2.3 โดยใช้หลอด vacuum tube $L_4$, $L_5$ และ C เป็น parallel resonance, $L_5$ output coil ที่จะ coupling กับ moisture detector circuit NO.1 และ circuit NO.2, $L_3$ และ$L_4$ พันอยู่บน air core อันเดียวกัน ใช้ feed back เข้าทาง grid ของ triode vacuum tube.

---

(1) Gray, Truman S. Applied Electronics pp.661 - 672




รูปที่ 2.3 Vacuum Tube Oscillator

Oscillator จะ oscillate ได้หรือไม่ ขึ้นอยู่กับ $L_4$, $L_5$, C และ Transconductance ที่ Quiescent point ของ vacuum tube คือ

$\overline{g_m} < \frac{\mu RC}{\mu M-L}$ จะให้ Decaying Oscillations .....(2.6)

$\overline{g_m} = \frac{\mu RC}{\mu M-L}$ ให้ Sustained Oscillations .....(2.7)

$\overline{g_m} > \frac{\mu RC}{\mu M-L}$ ให้ Growing Oscillations .....(2.8)

เมื่อ $\mu$ = amplification factor ของหลอด

M = mutual coupling ระหว่าง $L_3$ กับ $L_4$

L = $L_4 + L_5$

C = tuned capacitor

R = Resistances ของ coil $L_4$ และ $L_5$ และของ Load ซึ่ง reflect มายัง tank circuit

condition ที่ต้องการ คือ สมการ (2.7) และ Resonance angular frequeney

$$wo = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{.....(2.9)}$$

build up condition; $R_4C_4 >> \frac{1}{2\pi f}$ .....(2.10)

$f = 1$ MC ; $L_4 = 0.25$ mH ; $L_5 = 2$ mH

$\therefore L = 2.25$ mH

จาก(2.9) $C = \frac{1}{(2 \times 10^6)^2 \times 2.25 \times 10^{-3}} = 11.1 \times 10^{-12}$ f.

$= 11.1$ pf.

ใช้ C = 10 - 50 PF Trimmer Condenser

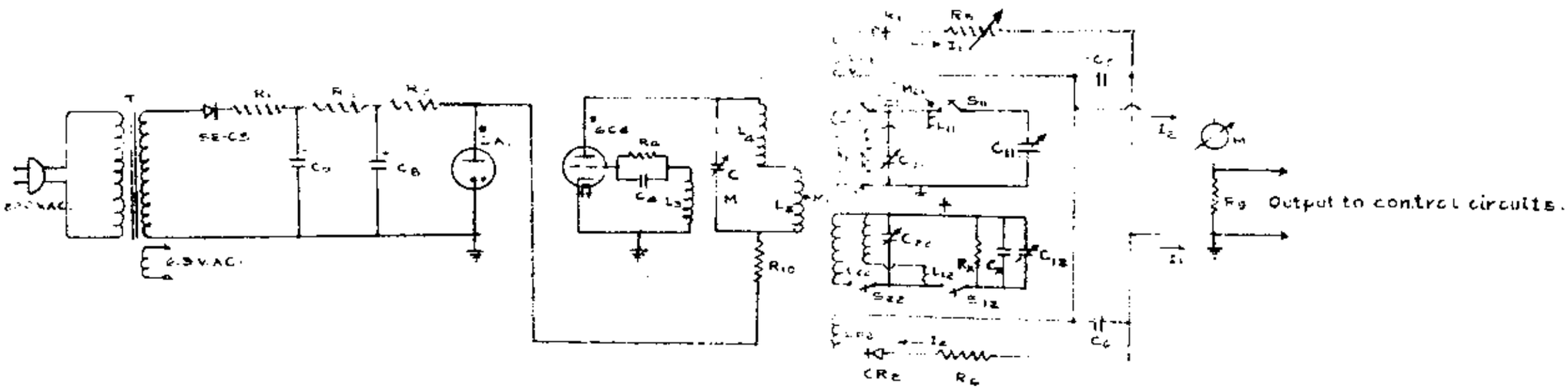
จาก (2.10) $R_4 = 1{,}000\ \Omega$ ; $C_4 = 50$ mf.

$\therefore R_4C_4 = 1{,}000 \times 50 \times 10^{-6} = 0.05 >> \frac{1}{2\pi f}$

2.5.2 DESIGN COUPLING CIRCUITS

Coupling Circuit เพื่อจะใช้วัด moisture ประกอบด้วย coil NO.1 และ NO.2 มีคุณสมบัติเหมือนกัน รูปที่ 2.4 เป็น circuits ของ ELECTROL และ design data,coupling circuits มี coil NO.1 และNO.2 ซึ่งต่างก็ coupling กับ $L_5$ ของ Oscillator Output ข้างละครึ่ง เมื่อ voltage เปลี่ยนแปลง ใน coil NO.1 coil NO.2 จะไม่ถูก effect รายละเอียดของค่า L,R,C ส่วนประกอบต่าง ๆ ของ circuits แสดงไว้ใน design data ใต้รูปที่2.4

จาก coupling circuits NO.2 $C_X$ และ $R_X$ เป็น capacitance และ resistance ของ plate condenserที่มี molding sand เป็น dielectric ถ้าไม่มี $C_X$ และ $R_X$ circuits NO.1 และ NO.2 ถูกปรับ $R_5$, $C_{11}$, $C_{12}$,$C_{21}$,$C_{22}$ จนได้กระแสไฟฟ้า $I_1 = I_2$ ดังนั้น M จะไม่อ่านผลต่างของ $I_1$ และ $I_2$ หลังจากนี้จึงนำเอา $C_X$ และ $R_X$ มาใส่ใน circuit NO.2 $I_2$ จะเปลี่ยนไปจากเดิม แต่ $I_1$ คงที่ ดังนั้น M จะอ่านผลต่างของ $I_2$ และ $I_1$ และผลต่างของ $I_2$ กับ $I_1$จะทำให้เกิด voltage drop ที่ $R_9$ ซึ่งอาจจะนำไป control circuits อื่น ๆ ที่จะใช้ในการผสม molding sand ได้




รูปที่ 2.4 CIRCUIT DIAGRAM ELECTROL

## DESIGN DATA

R1 = R2 = 470 Ω, 5 WATTS.
R3 = 2500 Ω, 10 WATTS.
R4 = [illegible] Ω, 1 WATTS.
R5 = 2740-1000 Ω, 1 WATT.
R6 = 27 Ω, 1 WATT.
Rg = 1000 Ω, 1 WATT.
R10 = 3,300 Ω, 2 WATTS
Rx = RESISTANCE OF HOLDING SAND
CR1,CR2 = SILICON DIODE-SD46

C = 10-50 PF TRIMMER
C11 = C12 = C21 = C22 = 50-450 PF.
Cx = CAPACITANCE OF MOLDING SAND.
C4 = 50 MF. ELECTROLYTIC
C6 = C7 = 0.22 MF. PAPER
C9 = C8 = 40 MF. ELECTROLYTIC
T = POWER TRANSFORMER 220/250V, 6.3V. 30MA.
M = MICROAMPERE METER, RANGE 0 TO 50.

L11 = L12 = 2.00 mH
L21 = L22 = 2.75 mH.
L3 = 0.20 mH.
L4 = 0.25 mH.
L5 = 6.00 mH.
LP1 = LP2 = 1.00 mH.