

砂床型 fluid mapper의 全流路와 砂床 領域의 特性 및 應用에 對하여

論文·資料
9-8

高 明 三

1. 序 言

Laplace 및 Poisson의 方程式을 만족하는 電場 및 磁場으로 구성된 2次元 및 軸對稱 3次元의 potential 場을 물의 流動場을 이용한 fluid mapper로 相似解析 함에 있어서 細隙流路에 있어서의 流體傳導率은 媒 質傳導率로 壓力은 電位로 流動場의 세기는 電場의 세 기로, 流量密度는 電流密度로 각각 相似되며 또한 砂 床型에 있어서는 砂床領域外에 存在하는 流線은 等磁 位線을 意味함을 論文⁽¹⁾에서 밝혔다.

이 論文에서는 砂床型 fluid mapper의 全流路 및 砂床領域에 있어서의 流體力學的 現象을 理論的으로 究明하여 이를 電氣的 等價回路와 相似 해석함으로써 砂床型 fluid mapper가 內包하고 있는 諸量間의 相互 關係를 明白히 하며 몇 가지 代表的인 實例를 들어 砂床型 fluid mapper의 應用에 對하여 기술하였다.

2. Fluid mapper의 全流路에

있어서의 諸特性

a) 基本方程式

fluid mapper의 流路에는 各種의 損失水頭가 存在 하므로 水槽水位差와 細隙中의 流速, 壓力差 및 砂床 의 세기등의 關係를 明白히 하기 위하여는 이들의 諸 關係를 검토하여야 할 것이다.

只今 fluid mapper의 全流路를 그림 2·1과 같이 생각한다. H[cm]를 水槽의 水位差 H_l[cm]를 각 部分 의 損失水頭, V[cm/sec]를 流速, F[cm²]를 流路의 斷面積, P[dyne/cm²]를 壓力이라 한다.

第1水槽와 第2水槽의 液面間에 Bernoulli의 定理 을 적용하면

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_0}{\gamma} + H_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_0}{\gamma} + H_2 + \sum_{n=1}^n H_{ln} \quad (2.1)$$

$$\therefore H = H_1 - H_2 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \sum_{n=1}^n H_{ln} \quad (2.2)$$

但 $\gamma = \rho g$ 로 주어지며 ρ 는 流量密度

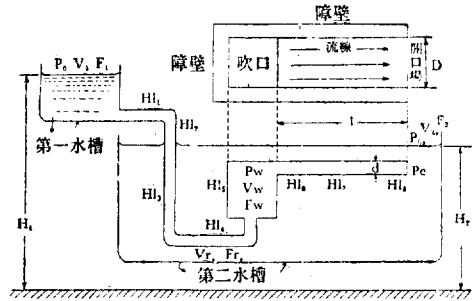


그림 2·1 Fluid mapper의 全流路 同一한 方法으로 流孔과 開口端間에 적용시키면

$$\frac{v_w^2}{2g} + \frac{P_w}{\gamma} = \frac{v^2}{2g} + \frac{P_e}{\gamma} + \sum_{n=0}^7 H_{ln} \quad (2.3)$$

$$\therefore \frac{P_w - P_e}{\gamma} = \frac{v^2 - v_w^2}{2g} + \sum_{n=0}^n H_{ln} \quad (2.4)$$

그런데 流體力學的으로 連續의 式은

$$v_1 F_1 = v_r F_r = v_w F_w = v F = v_2 F_2 \quad (2.5)$$

로 주어질 것이다.

다음에 각 損失水頭를 H_{l1}, H_{l2}, ..., H_{l3}라 하면

$$H_{l1} = \zeta_1 \frac{v_1^2}{2g} \quad (2.6)$$

$$H_{l2} = \zeta_2 \frac{v_r^2}{2g} \quad (2.7)$$

$$H_{l3} = \lambda_1 \frac{l_r}{d_r} \frac{v_1^2}{2g} \quad (2.8)$$

$$H_{l4} = \zeta_3 \frac{v_r^2}{2g} \quad (2.9)$$

$$H_{l5} = \lambda_2 \frac{l_w}{d_w} \frac{v_w^2}{2g} \quad (\text{流孔인 경우}) \quad (2.10)$$

$$H_{l'5} = \xi \frac{l_s}{d_k} \frac{v_s^2}{2g} \quad (\text{砂床인 경우}) \quad (2.11)$$

$$H_{l6} = \zeta_4 \frac{v}{2g} \quad (2.12)$$

$$H_{l7} = \lambda_3 \frac{l}{\phi m} \frac{v^2}{2g} \quad (2.13)$$

$$H_{l8} = \zeta_5 \frac{v^2}{2g} \quad (2.14)$$

로 주어진다.

여기서 H_{l1}은 第1水槽와 고무관의 連結點에 있어

서 流路의 축소에 起因한 損失水頭를 의미하며 損失係數 ζ_1 은 F_1/F_r 및 連結條件에 支配된다. H_{13} 는 고무管內의 마찰손실 head를 표시하고 l_r/d_r 는 각각 고무管의 길이와 內徑을 의미한다. 다음 마찰계수 λ_1 은 Reynolds number Re 즉 $Re=vr/d_r/\nu$ 및 관벽의 상태에 依來되며 二次元的 電磁場을 流線을 着色시킴으로써 나타나게 할 수 있는 層流에 있어서는 Hagen-Poiseuille의 法則에 依하여 $64/Re$ 이 같게 된다. 여기서 ν 는 動粘性係數를 표시한다. 다음 H_{12} 는 고무管의 굴곡에 의한 損失水頭이며 係數 ζ_2 는 (曲率半徑)/(고무管內徑) 및 굴곡角度에 依하여 결정된다. 다음 H_{14} 는 고무管과 流孔에 있어서의 損失水頭를 표시하며 l_w, d_w 는 각각 流孔의 길이 및 直徑이다. 係數 λ_2 는 $Re=vd_w/\nu$ 와 流孔壁의 상태에 따라 결정된다. H'_{15} 는 砂床中의 마찰손실 head를 표시하며 l_s 는 砂床의 길이 d_k 는 砂床에 넣은 金屬球 혹은 砂의 直徑이다. 損失係數 ζ_3 는 $Re''=v_s d_k/\nu$ 에 관계된다. 다음 H_{16} 는 流孔과 細隙流路의 連結點에 있어서 流路의 축소에 기인한 損失 head이며 ζ_4 는 F_w/F 에 依하여 결정된다. H_{17} 는 細隙中의 마찰손실 head를 표시하며 l 는 細隙流路의 길이 m 는 水力の 平均 길이이다. 따라서 d, D 를 각각 細隙間隔 및 細隙幅이라 하면

$$m = \frac{dD}{2(d+D)}$$

로 주어지므로 $d \ll D$ 인 경우에는 $m = \frac{d}{2}$ 가 되므로 H_{17} 는

$$H_{17} = \lambda_3 \frac{l}{2d} \frac{v^2}{2g} \quad (2.15)$$

로 표시할 수 있을 것이다. 損失係數 λ_3 는 $Re'=2vd/\nu$ 에 支配된다. 故로 H_{18} 는 細隙流路로부터 第2水槽로 流出할 때의 流路擴大에 依한 損失 head를 표시하며 ζ_5 는 F/F_2 에 따라 變化하게 된다.

b) 水槽의 水位差와 細隙中의 流速 및 流孔, 開口端間의 壓力差의 관계

只今 식 (2.2), (2.5) 및 (2.6)으로부터 (2.14)까지의 諸式을 利用하여 細隙中의 流速 v 와 水槽의 水位差 H 와의 關係를 求하면

$$v = \sqrt{\frac{2gH}{\left(\frac{F}{F_2}\right)^2 - \left(\frac{F}{F_1}\right)^2 + \left(\zeta_1 + \lambda_1 \frac{l_r}{d_r} + \zeta_2 + \zeta_3\right) \left(\frac{F}{F_r}\right)^2 + \lambda_2 \frac{l_w}{d_w} \left(\frac{F}{F_w}\right)^2 + \zeta_4 + \lambda_3 \frac{l}{2d} + \zeta_5}} \quad (2.16)$$

로 주어지므로 流量 I 를 이 v 를 사용하여 표시하면

$$I = dDv \quad (2.17)$$

로 주어진다.

또한 式 (2.4), (2.5) 및 (2.12), (2.15) 등에 依하

여 流孔과 開口端間의 壓力差 $P_w - P_e$ 와 水槽水位差 H 와의 關係를 水하면

$$P_w - P_e = \gamma H \frac{1 - \left(\frac{F}{F_w}\right)^2 + \zeta_4}{\left(\frac{F}{F_2}\right)^2 - \left(\frac{F}{F_1}\right)^2 + \left(\zeta_1 + \lambda_1 \frac{l_r}{d_r} + \zeta_2 + \zeta_3\right) \left(\frac{F}{F_r}\right)^2 + \lambda_3 \frac{l}{2d} + \lambda_2 \left(\frac{l_w}{d_w}\right) \left(\frac{F}{F_w}\right)^2 + \zeta_4 + \lambda_3 \frac{l}{2d} + \zeta_5} \quad (2.18)$$

로 된다.

一般的으로 Fluid mapper의 水槽의 단면적은 細隙의 단면적에 比하여 매우 크므로

$$\frac{F}{F_1} \approx \frac{F}{F_2} \approx 0 \quad (2.19)$$

로 가정한다.

또한 고무管의 l_r/d_r , 細隙流路의 $l/2d$ 는 매우 크므로 損失 head로 고무管의 內部 마찰손실에 依한 H_{13} , 細隙마찰損에 依한 H_{17} 의 두 가지단을 생각한다면 細隙中의 流速 및 壓力差는

$$v = \sqrt{\frac{2gH}{\lambda_1 \frac{l_r}{d_r} \left(\frac{F}{F_r}\right)^2 + \lambda_3 \frac{l}{2d}}} \quad (2.20)$$

$$P_w - P_e = \gamma H \frac{1 - \left(\frac{F}{F_w}\right)^2 + \lambda_3 \frac{l}{2d}}{\lambda_1 \frac{l_r}{d_r} \left(\frac{F}{F_r}\right)^2 + \lambda_3 \frac{l}{2d}} \quad (2.21)$$

로 주어진다.

지금 고무管內 및 細隙中의 흐름의 全部가 層流를 형성한다고 가정하고 또한 後者에 있어서 近似的으로 水力平均深度의 개념을 적용하면

$$Re = \frac{vr d_r}{\nu} < Rec \text{에 있어서} \quad \lambda_1 = \frac{64}{Re} = \frac{64\nu}{v r d_r} \quad (2.22)$$

$$Re' = \frac{2vd}{\nu} < Rec \text{에 있어서} \quad \lambda_3 = \frac{64}{Re'} = \frac{32\nu}{vd} \quad (2.23)$$

가 된다. 但 Rec 는 圓筒에 관한 Critical Reynolds 數이며 약 2×10^3 이 된다. 따라서 流速 v 는 連續의 方程式 (2.5) 및 式 (2.20)에 依하여

$$v = \frac{2gH}{64 \frac{\nu l_r}{d_r^2} \cdot \frac{F}{F_r} + 16 \frac{\nu l}{d^2}} \quad (2.24)$$

로 주어지며 壓力差 $P = P_w - P_e$ 는 式 (2.21)에 依하여

$$P = P_w - P_e = \gamma H \frac{1 - \left(\frac{F}{F_w}\right)^2 + 16 \frac{\nu l}{vd^2}}{64 \frac{\nu l_r}{vd_r^2} \cdot \frac{F}{F_r} + 16 \frac{\nu l}{vd^2}} \quad (2.25)$$

가 되므로 실지 應用面에서 成立될 수 있는 조건

$$1 - \left(\frac{F}{F_w}\right)^2 \ll 16 \frac{\nu l}{v d^2} \quad (2.26)$$

가 성립할 경우에는

$$P = \gamma H \frac{l}{d^2} \frac{1}{4 \frac{l_r}{d_s^2} \cdot \frac{F}{F_r} + \frac{l}{d^2}} \quad (2.27)$$

로 주어진다.

즉 以上과 같은 條件下에서는 流速 및 壓力差는 모두 水位差 H 에 比例함을 알 수 있다. 따라서 실제 Fluid mapper 로 二次元 또는 軸對稱 3次元 電磁場 혹은 기타의 Potential 場을 模示할 경우 水位差 H 는 壓力差 즉 電位差를 나타내므로 第1水槽와 第2水槽(혹은 第3水槽)와의 相對的인 位置를 變化시킴으로써 여러가지 電位差의 Potential 場을 쉽게 제어 模示할 수 있음을 보여 준다.

3. 砂床領域에 있어서의 諸特性

Fluid mapper 에 있어서의 細隙流路의 流體抵抗과 砂床流路의 流體 conductance 의 相乘積의 値가 매우 작은 경우에는 均等한 두께를 가진 砂床의 세기는 均等하다고 볼 수 없다. 이와 같은 문제를 分布定數를 가진 電氣回路의 原理를 이용하여 이를 相似解析하면 砂床領域의 諸特性이 確實해 짐을 알 수 있다. 즉 細隙間隔과 砂床의 두께 혹은 充填金屬粒度 등을 달리하는 砂床領域의 접속은 四端子網의 cascade connection 의 개념과 相似 比유된다.

a) 砂床中의 流流場

Fluid mapper 의 細隙中의 흐름만을 생각할 경우⁽¹⁾에는 砂床의 세기 W [gr/cm²sec]는 位置로만 생각하였으나 細隙流路→砂床流路의 순환水路를 생각할 경우에는 砂床中의 흐름 자체를 고려하여야 할 것이다.

一般的으로 本 fluid mapper 에서 사용되는 砂床은 多孔性煤質(例를 들면 市中에서 판매되고 있는 스펀지) 혹은 小形의 金屬球(직경이 約 0.4 mm) 등으로 된 充填物의 層이라 생각할 수 있는데 이와같은 煤質中에서 水와 같은 流體의 흐름인 경우에는 Darcy 의 法則이 成立한다. 이는 慣性效果가 없는 범위내에 있어서 Navier Stokes 의 方程式⁽¹⁾에 代置된 巨視的 經驗法則으로서

$$\mathbf{V} = -\text{grad } \phi \quad (3.1)$$

$$\phi = \frac{k}{\mu} (P - V) \quad (3.2)$$

但 k [cm²]는 煤質의 透過係路이다.

의 關係식이 成立한다. 上式에서 \mathbf{V} 는 外力의 potential 를 표시하므로 만일 外力을 고려하지 않으면 ϕ 는 第一項만으로 구성될 것이다. 지금 外力을 무시할 경우

一次元流에 대한 積分形은 連續方程式의 條件下에서

$$v = \frac{k}{\mu l} P \quad (3.3)$$

但 P 는 길이 l 인 경우 流路 兩端의 壓力差로 주어진다. 지금 斷面積 $F = dD$ 를 지나는 流量을 I [cm³/sec]라 하면

$$I = vF = vdD = \frac{KdD}{\mu l} P \approx GP \quad (3.4)$$

여기에 G [cm³/dyne sec]서 는 砂床中에서의 흐름에 直角인 單位面積當의 流體 conductance 에 해당하므로

$$g = \frac{k}{\mu l} \quad (3.5)$$

가 된다. 金屬球로 된 充填物의 透過係數 k 는

$$\frac{vd_k}{\nu} < 10 \text{의 범위내에서는 } k = \frac{d_k^2}{1000} \quad (3.6)$$

로 주어지므로 流體傳導率 g 는

$$g = \frac{d_k^2}{1000\mu l} \quad (3.7)$$

가 된다. 但 d_k [cm]는 金屬球의 直徑

$$\nu \text{ [cm}^2\text{/sec]} = \frac{\mu}{\rho} \text{는 動粘性係數}$$

$$\mu \text{ [dyne/sec/cm}^2\text{]} \text{는 粘性係數}$$

b) 砂床領域에서의 流量密度와 壓力의 分布

지금 그림 (3.1)과 같이 細隙面에 平行한 流線圖形을 나타내는 均等한 두께의 砂床領域(기리 l_0)의 한 端을 S , 他端을 R 라 하고 細隙中의 層流의 方向은 S 端부터 R 端으로 向하는 것으로 한다. 다음 l 및 l' 는 각각 S 및 R 端에서 측정된 거리이다.

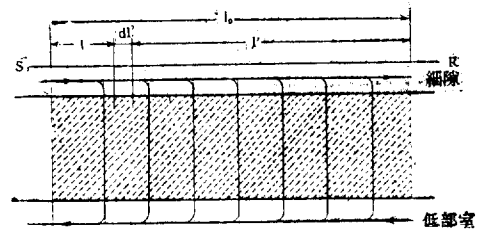


그림 3.1 均等砂床에서의 흐름

지금 i [cm²/sec]를 細隙流路單位巾當의 流量密度, P [dyne/cm²]를 壓力 또는 壓力差라 하고, 또한 γ [dyne·sec/cm²]를 흐름에 平行한 單位面積當의 細隙流路의 流體抵抗, g [cm³/dyne·sec]를 흐름에 直角인 單位面積當의 砂床의 流體 conductance 라 하면

$$r = \frac{12\mu}{d_s^3} \quad ()$$

$$g = \frac{k}{\mu d_s} = \frac{d_k^2}{1000\mu d_s} \quad ()$$

但 d_s : 砂床의 두께

의 關係식이 成立함은 이미 論文⁽¹⁾에서 밝혔다.

以上的 i , P , r , g 를 사용하면 길이가 dl 인 砂床領

域에 대한 等價의인 電氣回路는 그림 (3-2)와 같은 T型回路가 될 것이다.

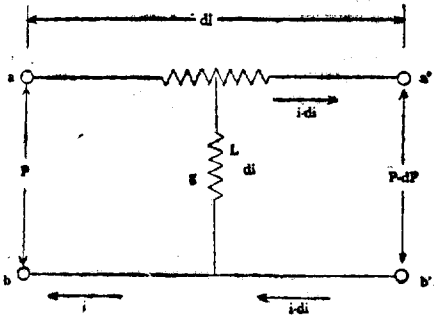


그림 3-2 砂床領域의 電氣의 等價回路

지금 그림 (3-2)에서 $ab \rightarrow a'b'$ 間에 있어서의 流量密度的 減少分은 $-di = gdl \cdot P$ 및 壓力의 減少分은 $-dp = rdl \cdot i$ 로 주어지므로 流量密度 및 壓力의 基本方程式은

$$\frac{d^2 i}{dl^2} = rgi \quad (3-8)$$

$$\frac{d^2 p}{dl^2} = rgP \quad (3-9)$$

가 되며 이를 i 및 P 에 대하여 풀면

$$i = A \cos h\sqrt{rg}l + B \sin h\sqrt{rg}l \quad (3-10)$$

$$P = -\sqrt{\frac{r}{g}} (A \sin h\sqrt{rg}l + B \cos h\sqrt{rg}l) \quad (3-11)$$

但 A, B 는 任意상수

로 주어진다. 따라서 S 端 및 R 端의 流量密度 및 壓力을 각각 i_s, P_s 및 i_R, P_R 라 하면

$$i = i_s \cos h\sqrt{rg}l - P_s \sqrt{\frac{g}{r}} \sin h\sqrt{rg}l \quad (3-12)$$

$$P = P_s \cos h\sqrt{rg}l - i_s \sqrt{\frac{r}{g}} \sin h\sqrt{rg}l \quad (3-13)$$

$$i = i_R \cos h\sqrt{rg}l' + P_R \sqrt{\frac{g}{r}} \sin h\sqrt{rg}l' \quad (3-14)$$

$$P = P_R \cos h\sqrt{rg}l' + i_R \sqrt{\frac{r}{g}} \sin h\sqrt{rg}l' \quad (3-15)$$

또한

$$\left. \begin{aligned} P_s &= A_0 P_R + B_0 i_R \\ i_s &= C_0 P_R + D_0 i_R \end{aligned} \right\} \quad (3-16)$$

$$\left. \begin{aligned} P_R &= A_0 P_s - B_0 i_s \\ i_R &= -C_0 P_s + D_0 i_s \end{aligned} \right\} \quad (3-17)$$

이 成立하며 行列로 표시하면 각각

$$\begin{bmatrix} P_s \\ i_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_0 & B_0 \\ C_0 & D_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_R \\ i_R \end{bmatrix} \quad (3-18)$$

$$\begin{bmatrix} P_R \\ i_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_0 & -B_0 \\ -C_0 & D_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_s \\ i_s \end{bmatrix} \quad (3-19)$$

로 주어질 것이다. 여기서

$$\left. \begin{aligned} A_0 D_0 - B_0 C_0 &= 1 \\ A_0 &= D_0 = \cos h\sqrt{rg}l_0 = \cos h\sqrt{r_1 g_1} l_0 \\ B_0 &= \sqrt{\frac{r}{g}} \sin h\sqrt{rg}l_0 = \sqrt{\frac{r_1}{g_1}} \sin h\sqrt{r_1 g_1} l_0 \\ C_0 &= \sqrt{\frac{g}{r}} \sin h\sqrt{rg}l_0 = \sqrt{\frac{g_1}{r_1}} \sin h\sqrt{r_1 g_1} l_0 \end{aligned} \right\} \quad (3-20)$$

의 관계식이 成立한다. 즉 以上에서 유도한 A_0, B_0, C_0 및 D_0 는 流量密度 및 壓力에 관계가 없는 砂床定數이며 이는 마치 電氣回路에 있어서의 四端子網의 四定數에 해당한다. 따라서 式 (3-18) 혹은 (3-19) 는 行列로 표시된 砂床領域에 관한 基本式이라 生覺할 수 있을 뿐만 아니라 이들의 式을 사용하면 流路의 端子의 考察은 매우 쉽게 될 을 알 수 있다.

c) 砂床流路의 Cascade connection

그림 (3-3)과 같이 定數가 r_1 및 g_1 인 砂床流路 I 과 r_2, g_2 로 된 砂床流路 II 가 細隙中의 層流가 흐르는 方向으로 Cascade connection 되었을 경우의 特性은 다음과 같이 될 것이다.

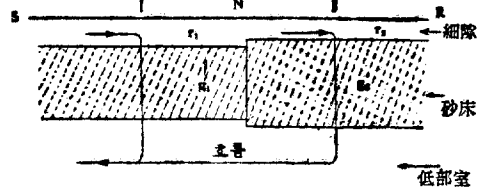


그림 3-3 不均等砂床에서의 흐름

위선 문제를 간단히 처리하기 위하여 接續部分에 있어서는 細隙中 및 砂床中 어느 것에든지 流線의 平行性은 유지된다고 가정한다. 그림 3-2와 같이 그림 3-3의 電氣의 等價回路를 그리면 결국 그림 3-4 및 그림 3-5 과 같은 結果가 될 것이다.

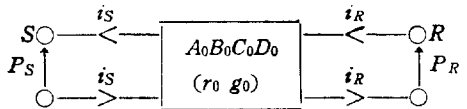


그림 3-4 不均等砂床의 電氣의 等價回路 (I)

지금 이들 等價回路와 流路 I 의 部分을 비교하면 式 (3-16)에 의하여

$$\left. \begin{aligned} P_s &= A_1 P_N + B_1 i_N \\ i_s &= C_1 P_N + D_1 i_N \end{aligned} \right\} \quad (3-21)$$

가 成立할 것이며 또한 流路 II 의 部分에 對하여는

$$\left. \begin{aligned} P_N &= A_2 P_R + B_2 i_R \\ i_N &= C_2 P_R + D_2 i_R \end{aligned} \right\} \quad (3-22)$$

가 成立한다. 따라서 式 (3-21)과 (3-22)에서 P_N, i_N 를 소거하면

$$\left. \begin{aligned} P_S &= A_0 P_R + B_0 i_R \\ i_S &= C_0 P_R + D_0 i_R \end{aligned} \right\} \quad (3.23)$$

가 되며 이를 行列로 쓰면

$$\begin{bmatrix} P_S \\ i_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_0 & B_0 \\ C_0 & D_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_R \\ i_R \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

로 표시되므로 결국 그림 (3.4)의 等價回路는 그림 (3.5)와 같은 等價回路가 될 것이다.

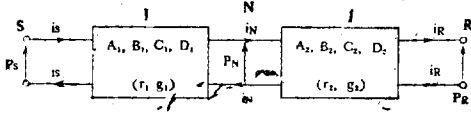


그림 3.5 不均等砂床의 電氣的等價回路 (I)

式 (3.24)의 A_0, B_0, C_0, D_0 는

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= A_1 A_2 + B_1 C_2 \\ B_0 &= A_1 B_2 + B_1 D_2 \\ C_0 &= C_1 A_2 + D_1 C_2 \\ D_0 &= C_1 B_2 + D_1 D_2 \end{aligned} \right\} \quad (3.25)$$

가 된다(그런데 보통 fluid mapper의 砂床流路에서는 $A_1=D_1, A_2=D_2$ 이다). 以上の 관계식으로 S의 R路間의 路子에서 본 砂床特性의 검토가 可能함을 알 수 있다.

d) 獨立砂床型 mapper에서의 砂床의 세기의 變化率 S端을 開口端, R端을 障壁으로 한 獨立砂床型 mapper를 그림 3.6과 같이 생각한다. 障壁에 있어서의 流量密度는 $i_R=0$ 인 고로 流量密度 및 壓力은 식 (3.14)와 (3.15)에 의하여

$$i = P_R \sqrt{\frac{g}{r}} \sin h \sqrt{rg} l' \quad (3.26)$$

$$P = P_R \cos h \sqrt{rg} l' \quad (3.27)$$

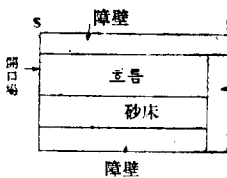


그림 3.6 獨立된 砂床

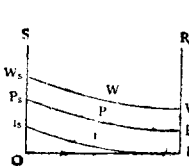


그림 3.7 分布源의 세기, 壓力 및 流量密度의 變化

따라서 砂床의 單位面積當의 세기를 $W [g/cm^2 \cdot sec]$ 라 하고 流體密度 $\rho [g/cm^3]$ 라 하면 $W' \frac{W}{\rho} [cm^3/cm^2 \cdot sec]$ 는

$$W' = \frac{W}{\rho} = \frac{di}{dl'} = P_R g \cos h \sqrt{rg} l' \quad (3.28)$$

로 주어지며 그림 (3.7)은 i, P, W 의 諸量의 分布狀態를 표시한다.

지금 砂床의 세기의 變化率을 a 라 하면

$$W_S' = P_R g \cos h \sqrt{rg} l_0, \quad W_R' = P_R g \text{인 고로}$$

$$a = \frac{W_S' - W_R'}{W_S'} = \frac{W_S - W_R}{W_S} = 1 - \sec h \sqrt{rg} l_0 \quad (3.29)$$

가 되므로 a 는 確實히 $0 \leq a \leq 1$ 이다. 따라서 式 (3.29)에서 變化率을 a 의 범위로 음지하기 위한 條件은

$$\sec h \sqrt{rg} l_0 \geq 1 - a \quad (3.30)$$

이다. 지금 條件(3.30)에 의하여 砂床의 세기의 變化率 a 가 주어졌을 때 砂床自體가 받게 된 現象을 數值的으로 검토하면 다음과 같다.

만일 變化率 $a=5\%$ 라 하면

$$\sqrt{rg} l_0 \leq 0.323$$

이 된다. 그런데 b)項의 結果로부터

$$rg = \frac{3}{250} \frac{d_k^2}{d_s^3} \quad (3.31)$$

의 관계식이 成立하므로

$$\frac{d_k^2 l_0^2}{d^3 d_s} \leq 8.69$$

가 된다. 지금 細隙間隔을 $d = \frac{1}{16} [\text{inch}] = 0.159 [\text{cm}]$,

砂床의 깊이를 $d_s = \frac{1}{2} [\text{inch}] = 1.27 [\text{cm}]$, 砂床의 長이를 $l_0 = 10 \text{cm}$ 라 하면

$$d_k \leq 0.0211 [\text{cm}] \quad (3.32)$$

가 된다. 즉 이 경우에는 砂床에 채울 金屬粒子的 直徑을 약 0.021cm 以下로 유지 하여야 만일 變化率을 5% 以內로 유지할 수 있다는 結論을 얻게 된다. 反對로 만일 金屬粒子的 直徑이 $0.034 [\text{cm}]$ 라 하면 同一變化率로 억제하기 위하여는 砂床의 長이를 $6.2 [\text{cm}]$ 로 取하여야 하며 또한 金屬粒子的 直徑을 $0.034 [\text{cm}]$ 로 하고 나머지 조건을 同一하게 하면 變化率은 約 $12.2 [\%]$ 로 增加함을 알 수 있다.

4. 應用例

그림 4.1은 本人이 製作한 fluid mapper의 實驗裝置의 全景이다.



그림 4.1

그림 4.2는 流路의 間隙이 1:3인 四角柱面이 두 境界面間に 있는 경우의 流路의 屈折을 表示한 것으로

誘電率의 比가 1 : 27인 경우의 電束의 屈折양을 橫示한다. 石膏板左편의 黑色의 圓孔과 이 石膏板(黑色) 주위는 Sink 혹은 Source 가 될 수 있는데 여기서는 内部 圓孔이 Sink의 役割을 하는 電極을 표시한다.

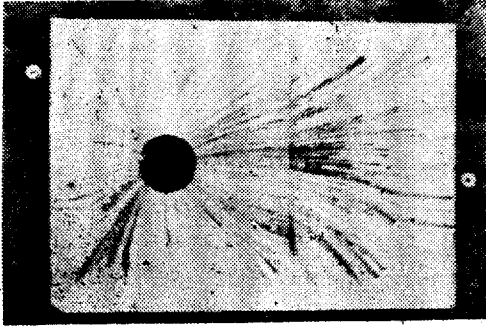


그림 4·2

그림 4·3은 砂床型 fluid mapper로 電流(Coil)에 의한 磁界를 표시하는 것으로 石膏板内部의 黑色圓孔, 所謂 砂床이며 이는 電流貫通域을(즉 Coil의 단면에 해당한다) 砂床外의 流線 即 電流貫通域外部에서는 等磁位線을 各各 표시하는데 이 電流에 直交하는 線 即 磁力線은 Caue-linear square method에 의하여 此 力를 定量的으로 해석하면 된다.



그림 4·3

그림 4·4와 4·5는 熱傳導의 應用을 표시한 것으로 Boundary 條件에 의하여 砂床의 Kernel이 如何히 變 遷하는가를 표시하고 있다. 일반적으로 Kernel은 熱



그림 4·4

傳導의 觀點에서 볼 때에는 最高溫部를 의미하며 이 流線과 直交하는 曲線群을 그리면 이는 곧 等溫線을 표시하게 된다.



그림 4·5

5. 結 言

水의 流動場을 利用하여 Laplace 및 Poissons의 方程式을 만족하는 各種 potential analogue 장치인 fluid mapper의 全流路 및 砂床에 있어서의 諸特性을 理論적으로 검토하였다.

우선 fluid mapper의 流路에 있어서의 各種 損失水頭를 가정하고 水槽의 水位差와 細隙中の 流速, 壓力差 및 砂床의 세기등의 關係를 確실히 하였다.

또한 砂床領域에서의 流量密度, 壓力 및 砂床의 세기 分布를 分布定數回路의 개념을 利用하여 이를 求하였다. 특히 砂床의 세기의 變化率과 細隙 및 砂床流路의 形狀과의 關係를 確실히 하였고 소위 四端子定數와 유사한 砂床定數를 유도하여 四端子網의 cascade connection 回路와 같이 條件이 다른 砂床을 접속하였을 때의 兩雙의 端子에서 본 砂床特性의 검토의 可能性을 提示하였다. 以上의 結果로 fluid mapper로 實際應用時 發生한 誤差의 原因을 闡明하였다.

(西紀 1962年 7月 10日 接受)

References

1. 高明三 : Fluid mapper에 의한 電磁場解析, 서울大學校 大學院 (1959.12)
2. A. D. Moore : J Appl, phys 20 190(1949)
3. Ernst Weber : Electromagnetic fields, theory and Application Vol 1. : Wiley.
4. Stephens Attwood : Electric and magnetic fields : Wiley.
5. 友近普 著 流體力學 : 共立版株式會社 日本