급변류에 의한 하상변동 예측을 위한 수심적분 수치모형

Depth Averaged Numerical Model for Sediment Transport by Transcritical Flows

김 보 람* / 김 대 홍**

Kim, Boram / Kim, Dae-Hong

Abstract

A stable second-order finite volume method was proposed to predict sediment transport under rapidly varied flow conditions such as transcritical flow. For the use under unsteady flow conditions, a sediment transport model was coupled with shallow water equations. HLLC approximate Riemann solver based on a monotone upstream-centered schemes for conservation laws (MUSCL) reconstruction was used for the computation of the flux terms. From the comparisons of dam break flow experiments on erodible beds in one- and two-dimensional channels, good agreements were obtained when proper parameters were provided. Lastly, dam surface erosion problem by overtopped water was simulated. Overall, the numerical solutions showed reasonable results, which demonstrated that the proposed numerical scheme could provide stable and physical results in the cases of subcritical and supercritical flow conditions.

keywords : sediment transport, transcritical flow, finite volume method, shallow water equation

요 지

천이류와 같은 급변류에 의한 하상변동을 예측하기 위한 이차정확도의 유한체적법 모형을 제시하였다. 부정류 조건하에서의 유사이송과 하상변동문제에 적용하기 위하여 유사이송모형을 천수방정식과 연계하였다. 지배방정식은 MUSCL 기반의 유한체적법을 이용하였고, 계산요소간 흐름률은 HLLC approximate Riemann solver를 이용하여 계산하였다. 일차원과 이차원 수로에서의 댐붕괴파에 의한 하상변동문제와 월류로 인한 하류부 댐사면의 침식문제에 적용한 결과, 적절한 매개변수를 이용하는 경우에 전반적으로 정확한 수치모의 결과를 얻을 수 있었다. 또한 전반적인 계산결과는 수치적으로 안정적이고 물리적으로 타당한 결과를 나타내었고, 이로부터 제시된 수치모의 기법이 상류와 사류조건하에서의 하상변동 문제에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 하상변동, 천이류, 유한체적법, 천수방정식

1. 서 론

물의 순환현상에 수반되는 유사의 거동과 지형의 변화는 지난 수십 년간 다양한 분야에서 지속적으로 연구가 수

행되어 왔다. 이 중에서도 하천에서 물의 흐름과 하상의 변화를 예측하기 위한 방법 중 하나로 수치모형을 개발하고 이용하는 방법에 대한 연구가 꾸준히 수행되고 있다. 삼차원공간에서 물과 유사의 흐름에 대한 지배방정식

* 서울시립대학교 토목공학과 박사과정 (e-mail: k1024b@uos.ac.kr)

Graduate Student, Department of Civil Engineering, University of Seoul, Seoul, Korea

** 교신저자, 서울시립대학교 토목공학과 부교수 (e-mail: dhkimhyd@uos.ac.kr, Tel: 82-2-2210-5370)

Corresponding Author, Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Seoul, Seoul, Korea

을 수치해석적으로 풀어 해를 구하는 삼차원 모형이 일반적으로 가장 정확한 해를 도출할 수 있으나, 사용자의 목적에 따라 이차원과 일차원 수심평균모형도 과학적 또는 공학적으로 중요한 역할을 할 수가 있다. 이에 따라 다양한 수치모형개발 관련 연구가 지속적으로 수행 되고 있다.

일반적으로 일차원 또는 평면 이차원의 수심적분모형은 천수방정식(shallow water equation)과 유사의 연속방정식이나 수송방정식을 이용한다. 최근 제시된 관련 연구 성과를 살펴보면, Cao et al. (2004)은 일차원의 Saint-Venant 방정식과 일차원의 수심적분형 수송방정식을 WAF (weight averaged flux) 기법과 HLLC Riemann solver (Toro, 2002)를 이용하여 해석하는 수치모형을 개발하였다. 그러나 Cao et al. (2004)은 수치적으로 흐름방향과 생성방향의 균형이 이루어지도록 하는 기법을 이용하지 않았다. Wu and Wang (2007)은 다양한 경우의 일차원 댐붕괴파가 발생하는 경우에 대한 수치모의를 수행하였는데, 일차정확도의 모형을 이용하여 급변류문제에 적용할 경우, 수치적 확산이 문제가 될 여지가 있다. Murillo and Garcia-Navarro (2010)와 Soares-Frazao and Zech (2010)는 이차원 천수방정식과 Exner 방정식을 유한체적법으로 푸는 수치모형을 제시하였다. Kim and Lee (2012)는 Cao et al. (2004)이 제시한 WAF 기반의 하상변동 모형을 개선하여 생성방향과 흐름방향의 균형을 보장하여 임의의 지형에 적용이 가능한 사차정확도의 수치모형을 제시하였다. Jang (2014)은 곡선좌표계를 적용하여 보다 다양한 하상변동문제에 적용이 가능한 이차원 수치모형을 이용하여 하폭의 주기적인 변화에 인한 사주 발생과 거동에 대한 현상을 수치모의결과를 이용하여 해석하였다.

본 연구에서는 위에서 언급한 성과와 유사한 기법을 이용하여 흐름과 하상변동을 모의하기 위한 이차정확도 수치모형을 제시한다. 특히, 개념적으로 부정류를 대상으로 적용이 가능한 유사이송모형을 이용하여, 댐붕괴파와 같이, 급변류가 발생하는 조건에서의 하상변동에 대한 수치모의에 대한 연구를 수행하였다.

2. 지배방정식

물의 흐름과 하상변동을 모의하기 위한 수심적분형태의 지배방정식은 다음과 같이 표현된다(Cao et al., 2004).

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Hu_i}{\partial x_i} = -\frac{\rho_o}{\rho_w} \frac{\partial d}{\partial t} + \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} (D - E) \quad (1)$$

$$\frac{\partial Hu_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{1}{2} g H^2 \right) = -g H \frac{\partial d}{\partial x_i} - \frac{1}{2\rho} g H^2 \frac{\partial \rho}{\partial x_i} + u_i \frac{\rho - \rho_o}{\rho} \frac{E - D}{1 - p} - \frac{\tau_i^b}{\rho} \quad (2)$$

$$\frac{\partial Hc}{\partial t} + \frac{\partial Hu_i c}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_t H \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) + E - D \quad (3)$$

$$\frac{\partial d}{\partial t} = \frac{D - E}{1 - p} \quad (4)$$

여기서, H 는 수심, $(i, j) = 1, 2$, $u_i = (u, v)$ 는 각각 $x_i = (x, y)$ 방향의 수심평균유속, g 는 중력가속도 이다. c 는 부유사의 수심평균농도로 $c = (\rho - \rho_w) / (\rho_s - \rho_w)$ 와 같이 정의된다. D_t 는 난류확산계수, p 는 바닥의 공극률이고, d 는 바닥의 표고를 나타낸다. ρ_w 와 ρ_s 는 각각 물과 바닥층 유사의 밀도이고, ρ 는 물과 유사의 혼합에 의한 밀도로 $\rho = \rho_w(1 - c) + \rho_s c$ 와 같이 정의 되고, 바닥층의 포화밀도 (saturated density)는 $\rho_o = \rho_w p + \rho_s(1 - p)$ 와 같이 정의 된다. E 는 하상으로부터 물로의 유사 흐름률이고, D 는 물로부터 바닥으로의 유사가 침강되는 흐름률로 다음과 같이 정의 된다(Cao et al., 2004).

$$E = \begin{cases} \varphi(\theta - \theta_c) u H^{-1} d_s^{-0.2} & , \theta \geq \theta_c \\ 0.0 & , \theta < \theta_c \end{cases} \quad (5)$$

$$D = w_s (1 - C_\alpha)^m C_\alpha \quad (6)$$

여기서, C_α 는 $C_\alpha = \alpha c$ 로 정의되고, $\alpha = \min(2, (1 - p)/c)$, $m = 2.0$ 으로 주어진다. φ 는 임의의 계수이고, θ 는 Shields parameter, θ_c 는 critical Shields parameter 이며, d_s 는 유사의 직경이다. $\tau_b^i = (\tau_b^x, \tau_b^y)$ 는 바닥마찰력으로 아래 식과 같이 정의 된다.

$$\tau_b^x = c_f \rho u \sqrt{u^2 + v^2}, \quad \tau_b^y = c_f \rho v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (7)$$

여기서, 마찰계수 c_f 는 Manning 계수 n 을 이용하여 $c_f = g n^2 / H^{1/3}$ 과 같이 산정하였다.

3. 수치해석기법

지배방정식을 수치적으로 해석하기 위해 공간적으로 이차정확도의 MUSCL-Hancock 기법을 바탕으로 흐름방향과 생성방향의 균형을 이루어 주는 RSGM (Kim et al., 2008) 기법을 이용하였다. 수치해석 기법에 대한 상세한 내용은

Toro (2002)와 (Kim et al., 2008)에 설명되어 있으므로 본 논문에서는 주요부분만을 간략히 기술하였다. 우선 계산 요소의 보존변수는 아래식과 같이 보간 한다.

$$H_{j-1/2} = (\eta_{j-1/2} - d_{j-1/2}) \quad (8)$$

$$H_{j+1/2} = (\eta_{j+1/2} - d_{j+1/2})$$

$$\eta_{j-1/2} = \eta_j - \frac{1}{2} \Delta x_j \delta \eta_j \quad (9)$$

$$\eta_{j+1/2} = \eta_j + \frac{1}{2} \Delta x_j \delta \eta_j$$

$$\phi_{j-1/2} = \phi_j - \frac{1}{2} \Delta x_j \delta \phi_j \quad (10)$$

$$\phi_{j+1/2} = \phi_j + \frac{1}{2} \Delta x_j \delta \phi_j$$

여기서, $j \pm 1/2$ 는 계산요소 j 와 계산요소 $j \pm 1$ 사이의 경계면을 나타내고, Δx_j 는 계산요소의 폭이고 δ 는 변수의 기울기를 나타내는 연산자로서 임의의 변수 ϕ 에 대하여 다음과 같이 나타내어진다.

$$\delta \phi_i = G \left(\frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{x_{i+1} - x_i}, \frac{\phi_i - \phi_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \right) \quad (11)$$

여기서, G 는 경사제한자이고 본 연구에서는 아래식과 같이 superbee limiter를 이용하였다.

$$G(a, b) = \text{sign}(b) \max[0, \min(2|b|, \text{sign}(a)), \min(|b|, 2\text{sign}(a))]$$

ϕ 는 Hu_i 와 c 이고, η 는 수위이다. 이와 같이 보간된 변수를 이용하여 지배방정식을 계산요소에 대하여 이산화하면 시간단계 $k+1/2$ 에서의 해는 다음과 같이 표현된다.

$$(A\mathbf{U})_{ij}^{k+1/2} = (A\mathbf{U})_{ij}^k - \frac{\Delta t}{2} \left\{ \sum_{m=1}^M \mathbf{F}(\mathbf{U})^k \cdot \mathbf{L}_m - (A\mathbf{S})_{ij}^k \right\} \quad (12)$$

여기서, A 는 계산요소의 면적이고, $\mathbf{U} = (H, Hu, Hv, Hc)$, k 는 시간단계, Δt 는 시간간격, $\mathbf{L}_m$ 은 계산요소의 경계를 나타내는 벡터이다. 시간단계 $k+1$ 에서의 해는 $k+1/2$ 단계에서 구한 해를 이용하여 아래의 이산화식을 이용하여 구할 수 있다.

$$(A\mathbf{U})_{ij}^{k+1} = (A\mathbf{U})_{ij}^k - \Delta t \left\{ \sum_{m=1}^M \mathbf{F}(\mathbf{U}^L, \mathbf{U}^R)^{k+1/2} \cdot \mathbf{L}_m - (A\mathbf{S})_{ij}^{k+1/2} \right\} \quad (13)$$

여기서, L 과 R 는 각각 좌측과 우측 계산요소를 나타내며, $\mathbf{F}$ 와 $\mathbf{S}$ 는 Eqs. (1)~(3)의 플럭스항과 우변에 나타난 생성항을 각각 의미한다. Eqs. (12) and (13)을 이용하여 시간적분을 함으로써 시간적으로 이차정확도를 확보하게 된다. Corrector step에서 플럭스항은 Toro (2002)가 제시한 HLLC approximate Riemann solver를 이용하여

계산하였다.

$$\mathbf{F}_{i+1/2}^{HLLC} = \begin{cases} \mathbf{F}_L & \text{for } 0 \leq S_L \\ \mathbf{F}_L^* = \mathbf{F}_L + S_L(\mathbf{U}_L^* - \mathbf{U}_L) & \text{for } S_L \leq 0 \leq S_* \\ \mathbf{F}_R^* = \mathbf{F}_R + S_*(\mathbf{U}_R^* - \mathbf{U}_R) & \text{for } S_* \leq 0 \leq S_R \\ \mathbf{F}_R & \text{for } S_R \leq 0 \end{cases} \quad (14)$$

여기서, 파속은 아래 식과 같이 정의 된다.

$$S_L = u_L - a_L q_L, \quad S_R = u_R + a_R q_R \quad (15)$$

$$S_* = \frac{S_L H_R (u_R - S_R) - S_R H_L (u_L - S_L)}{H_R (u_R - S_R) - H_L (u_L - S_L)} \quad (16)$$

여기서,

$$a_{L,R} = \sqrt{g H_{L,R}} \quad (17)$$

$$q_{L,R} = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{2} \left[\frac{(H_* + H_{L,R}) H_*}{H_{L,R}^2} \right]}, & H_* > H_{L,R} \\ 1, & H_* \leq H_{L,R} \end{cases} \quad (18)$$

보다 자세한 HLLC approximate Riemann solver에 대한 내용은 Toro (2002)와 Toro (1999)에 매우 상세히 기술되어 있으므로 본 논문에서는 생략하였다. 마른/젖음(wet and dry) 문제에 적용하기 위해 Cho (1995)가 제시한 이동경계 기법을 이용하였다.

4. 수치모의 및 결과

4.1 일차원 댐붕괴파에 의한 하상변동 모의

Fraccarollo and Capart (2002)는 댐이 순간적으로 붕괴함에 따라 발생하는 충격파의 진행과 이에 따른 하상변동 양상에 대한 실험을 수행하였다. 수로의 채널은 Fig. 1에 나온 바와 같이, 수로의 크기는 길이가 2.5m이고 폭이 0.1m이며, 수로의 중앙 부분에 댐을 설치하여, 상류부 수심을 $H=0.1$ m로 하고, 하류부 수심은 $H=0.0$ m로 하였다. 수로의 바닥은 높이 2.8mm, 직경 3.2mm 크기와 밀도가

Fig. 1. Initial Setup Of Experiment by Fraccarollo and Capart (2002)

1,540 kg/m³인 실린더형 모양의 입자를 포설하였다. 공극률은 $p=0.3$ 이었고, 입자의 침강 속도는 0.18 m/s로 제시되었으며, 바닥마찰력을 구하기 위해 사용되는 Manning 계수는 $n=0.025$ 로 주어졌다. 수치모의를 위하여, $\Delta x=0.025$ m 크기의 격자를 이용하였고, 물의 밀도를 $\rho=1,000$ kg/m³으로 가정하였다. 유사의 침식모형에 필요한 계수는 $\varphi=0.01$ 을 이용하였다.

Figs. 2 and 3은 댐을 순간적으로 제거한 후 0.505s와 1.01s 경과 후, Fraccarollo and Capart (2002)의 측정자료와 본 연구에서 제시한 수치모형을 이용한 계산결과를 비교한 것으로, 적절한 계수를 이용할 경우, 수치모형은 댐붕괴파에 의한 물의 흐름과 하상변동을 비교적 정확하게 예측할 수 있는 것으로 나타났다.

4.2 단면 급확대 수로에서의 댐붕괴파에 의한 하상 변동 모의

본 절에서는 Palumbo et al. (2008)과 Goutiere et al.

Fig. 2. Profiles at $t=0.505$ Second. Circles: Measured Water Surface. Squares: Measured Bottom. Black Line: Computed Water Surface. Blue Line: Computed Bottom

Fig. 3. Profiles at $t=1.01$ Second. Circles: Measured Water Surface. Squares: Measured Bottom. Black Line: Computed Water Surface. Blue Line: Computed Bottom

(2012)이 수행한 수평방향으로 단면이 급확대 되는 수로에 발생하는 댐붕괴파에 의한 하상변동 양상을 수치모의한다. 수로의 개략적인 제원은 Fig. 4와 같으며, 수로의 중심부에 댐이 설치되어 있다. 댐 상류단의 초기 수심은 $H=0.25$ m이고, 댐 하류단의 초기수심은 $H=0.0$ m이다. 수로 바닥에 포설된 유사의 입경은 $d_s=1.65$ mm이고 밀도는 $\rho_s=2,680$ kg/m³이며, 공극률은 $p=0.42$ 이다. 실험방법과 결과에 대한 보다 자세한 설명은 참고문헌에 보다 자세히 기술되어 있으므로 본 논문에서는 생략하였다. 수치모의를 위하여 $\Delta x=\Delta y=0.01$ m의 격자를 이용하였고, 매닝계수 $n=0.026$ 과 $\varphi=3 \times 10^{-5}$ 을 이용하였다. Figs. 5~7은 수로에 위치한 댐을 순간적으로 제거한 다음 흐름과 하상의 변화가 수렴된 후, 수치모의 결과와 실험결과를 비교한 것으로, 전반적으로 양호한 예측 결과를 보이고 있다.

Fig. 4. Plan View of Sudden Expansion Channel

Fig. 5. Comparison of Bottom Profiles at $x=4.1$ m. Symbols: Measured Data. Line: Computed Results

Fig. 6. Comparison of Bottom Profiles at $x=4.4$ m. Symbols: Measured Data. Line: Computed Results

4.3 월류로 인한 댐 사면 침식 모의

Tingsanchali and Chinnarasri (2001)은 댐 상단으로의 월류에 의한 댐표면 붕괴에 대한 연구를 수행하였다. 실험 수로의 길이는 35m이고, 폭은 1m이다. Fig. 8에 묘사되어 있는 것과 같이, 댐은 수로의 중앙에 위치하며, 댐 상단의 표고는 0.8m이고 댐 상류 저수지의 바닥 표고와 하류 하천의 바닥 표고는 0.0m이다. 댐의 상류측 경사는 1V:3H이고, 하류단 경사는 1V:5H이며, 수로의 상류단으로부터, 1.05ℓ/s로 물이 유입되었다. 댐을 구성하는 입자는 $d_s=0.86\text{ mm}$, $\rho_s=2,650\text{ kg/m}^3$ 이며, 공극률은 $p=0.23$ 이다. 월류를 재현하기 위하여, 댐 상단부에 수문을 설치하여, 댐 상류부의 수위가 0.83m가 되었을 때, 수문을 순간적으로 개방하여 댐 하류부 사면의 침식을 유도하였다. 수치모의를 위하여 $\Delta x=0.1\text{ m}$ 의 균일 격자를 이용하였다. 매닝계수는 Strickler 공식을 이용하여 $n=0.018$ 의 값을 이용하였고 $\varphi=1.1 \times 10^{-4}$ 을 이용하였다. Fig. 9는 실험 결과와 수치모의 결과를 비교한 것으로, 두 결과가 비교적 잘 일치하고 있어, 적절한 계수를 산정할 수 있다면, 본 연구에서 주어진 수치모의 기법을 이용하여 댐사면에서 발생 가능한 월류로 인한 댐체의 붕괴양상 모의가 가능

Fig. 7. Comparison of Bottom Profiles at $x=4.5\text{ m}$. Symbols: Measured Data. Line: Computed Results

Fig. 8. Initial Bathymetry of Dam Overtopping Case

Fig. 9. Comparison of Dam Surface Elevation at $t=120\text{ s}$. Line: Computed Dam Profile. Symbols: Measured Dam Profile

함을 시사한다.

5. 결 론

본 연구에서는 댐붕괴과와 같은 급변류로 인하여 발생하는 하상변동을 모의하기 위한 이차정확도의 수치기법을 제시하고 검증을 수행하였다. 물의 흐름에 대한 지배방정식으로는 평면 이차원공간에서의 흐름의 해석에 적합한 천수방정식을 이용하였다. 하상변동은 이송확산방정식을 기반으로 하는 noncapacity 유사이송 모형을 이용하였다. 지배방정식을 수치적으로 해석하기 위하여 HLLC approximate Riemann solver를 이용하는 유한체적법을 이용하였다.

수치모형의 검증을 위해, 가장 많이 이용되는 경우 중 하나인, 일차원 평면위에서의 순간적인 댐붕괴과 문제를 대상으로 선정하여, 댐붕괴과와 이에 수반되는 하상변동양상을 해석하였다. 또한 평면 이차원공간에서 발생한 댐붕괴과가 단면이 급확대 되는 구간을 지나며 유발시키는 하상변동 문제를 선정하여, 제시된 수치모형의 적정성을 검토하였다. 마지막으로, 댐 저수지의 수위가 높아져 물이 댐의 정상부를 월류하는 경우 발생 가능한 댐 하류부 표면의 침식 현상을 수치모의 하고 실험결과와 비교하였다. 세 가지 유형에 대하여, 본 논문에 제시된 계산 결과는 비교적 타당한 정도의 예측 결과를 나타내었다. 그러나 모든 경우에 대하여 수치해석 결과는 유사이송모형 매개변수인 φ 에 매우 민감하였으며, 적절한 φ 가 제시된 경우에 한해 실험결과와 유사한 예측이 가능하였다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 서울시립대학교 교내학술연구비에

의하여 연구되었음.

References

- Cao, Z., Pender, G., Wallis, S., and Carling, P. (2004). "Computational dam-break hydraulics over mobile sediment bed." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 130, pp. 689-703.
- Cho, Y.S. (1995). *Numerical simulations of tsunami propagation and run-up, PhD thesis, School of Civil and Environmental Engineering*, Cornell University, Ithaca.
- Fraccarollo, L., and Capart, H. (2002). "Riemann wave description of erosional dam-break flows." *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 461, pp. 183-228.
- Goutiere, L., Soares-Fraza, S., and Zech, Y. (2012). "Dam-break flow on mobile bed in a channel with a sudden widening: experimental data." *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 49, pp. 367-371.
- Jang, C.L. (2014). "Numerical Experiments of the Behavior of Bars in the Channels with Periodic Variable Width." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 47, No. 1, pp. 37-47.
- Kim, D.H., and Lee, S.O. (2012). "Stable Numerical Model for Transcritical Flow and Sediment Transport on Uneven Bathymetry." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 138, pp. 46-56.
- Murillo, J., and Garcia-Navarro, P. (2010). "An Exner-based coupled model for two-dimensional transient flow over erodible bed." *Journal Computational Physics*, Vol. 229, pp. 8704-8732.
- Palumbo, A., Soares-Fraza, S., Goutiere, L., Pianese, D., and Zech, Y. (2008). *Dam-break flow on mobile bed in a channel with a sudden enlargement*. Proceedings of River Flow 2008 International Conference. on Fluvial Hydraulics, Vol. 1, M. Altinakar et al., eds., International Association for Hydro-Environment Engineering and Research, Madrid, Spain, pp. 645-654.
- Soares-Fraza, S., and Zech, Y. (2010). "HLLC scheme with novel wave-speed estimators appropriate for two-dimensional shallowwater flow on erodible bed." *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, Vol. 66, pp. 1019-1036.
- Tingsanchali, T., and Chinnarasri, C. (2001). "Numerical modelling of dam failure due to flow overtopping." *Hydrological Sciences-Journal des Sciences Hydrologiques*, Vol. 46, pp. 113-130.
- Toro, E.F. (1999). *Riemann solvers and numerical methods for fluid dynamics*, Springer-Verlag.
- Toro, E.F. (2002). *Shock-capturing methods for free-surface shallow flows*, Wiley, Hoboken, NJ.
- Wu, W., and Wang, S.Y. (2007). "One-Dimensional Modeling of Dam-Break Flow over Movable Beds." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 133, pp. 48-58.

paper number : 14-080

Received : 20 August 2014

Revised : 28 September 2014 / 15 October 2014

Accepted : 15 October 2014