한국군사과학기술학회지 제13권 제6호, pp. 1026~1033, 2010년 12월

학술논문 해상 · 수중 부문

고속입수체의 제어판 충격해석

The Analysis of Impact at the Fin of High Speed Water-Entry Body

나 영 인* 이 심 용*
Young-In Nah Sim Yong Lee

Abstract

The analysis of water-entry impact forces acting on the fin shaft of high speed water-entry body is described. During the entry of high speed body into water, the physical phenomenon and flow properties are analyzed. A proper analysis model is established and the method to estimate the flow force which causes impact torque at the fin shaft is described.

It is assumed that the fin shaft is damaged by the force which is induced by contacting with cavity wall. The pressure distribution of fin and the maximum torque are estimated and compared with breaking force.

Conclusively, it is hard to resist water-entry impact force in terms of the reinforcement of fin shaft. Additionally safe equipment is essentially required.

Keywords : Water-Entry Impact(입수충격), High Speed Water-Entry Body(고속입수체)

1. 서 론

전산유체역학의 발전에도 불구하고, 운동체의 두부 충격에 관한 문제에 비하여 운동체와 낙하산이 연이어 입수하면서 형성하는 공동을 포함한 복잡한 유동을 통과하는 운동체 후부의 유체현상 혹은 유체력의 정량적 해석은 훨씬 더 어렵다.

현재 초공동화 수중운동체의 유동해석과 관련하여 다상유동의 해석에 대한 많은 연구가 이루어지고 있고, 이러한 정상상태의 공동에 대한 해석 방법을 입수 문제와 같이 과도 상태에서의 공동의 형성과 소멸 등과 관련한 문제로 확장하는 것은 많은 시간과 노력이 요구된다. 운동체의 입수충격과 관련한 광범위한 연구가 있었음에도 불구하고, 입수운동체의 후부에서의 물리량 추정 방안에 대한 연구 결과는 흔하지 않다.

본 논문에서는 고속입수체의 입수과정에서 발생한 후미 제어판 구동축의 비틀림 손상 문제를 규명하기 위하여 구동축에 작용하는 충격력을 추정하는 방법을 제시하고 정량적으로 충격력을 예측하고자 한다. 참고문헌들을 통하여 입수과정의 물리 현상 및 유동 특성을 정성적으로 분석하고, 제어판에 유체력이 작용할 수 있는 상황을 추정하여 모델링한다. 해석 모델에 대한 해를 구하기 위하여 수상비행기의 입수충격 해석과 관련한 실험 결과 및 기타 학술적 목적으로 행하여진 실험 결과들을 검토하여 준경험적인

† 2010년 7월 23일 접수~2010년 10월 1일 게재승인
* 국방과학연구소(ADD)
책임저자 : 나영인(yinah@add.re.kr)

(semi-experimental) 방법으로 제어판에 작용하는 유체력을 추정함으로써 제어판 구동축의 충격토오크를 추정한다.

2. 고속입수시험에서의 비틀림 및 손상현상

고속입수체의 입수시 안전성 확인을 위한 항공기 투하시험(2300ft 상공에서 40노트로 비행)에서 제어판 구동축의 비틀림과 손상현상이 나타났고, 이에 대한 추가 확인시험에서 Table 1과 같이 재현됨으로써 물리적으로 분명한 현상임이 증명되었다.

Table 1. 입수전후 제어판 구동축 비틀림 오차 비교

	시험 전	시험 후	비틀림 오차
상 방향타	-1.5	-1.2	0.3
하 방향타	-1.5	구동축 파손	-
좌 승강타	-0.5	-0.1	0.4
우 승강타	-1.0	-0.2	0.8

3. 입수과정의 물리적 현상 고찰

가. 고속입수체의 입수과정

May(1975)는 운동체의 물성치와 두부형상 그리고 입수속도 등의 운동특성에 따라 달라지는 입수공동에 대한 사진 자료를 근거로 입수공동의 형상에 대한 정성적 고찰을 하였다. 이를 참고로 고속입수체(입수시 낙하산과 충격완화용 두부덮개 장착)의 입수 과정에서의 물리 현상을 정성적으로 추측한다.

Fig. 1과 같이 초기에 수평방향으로 형성되는 스프레이(spray)는 입수가 진행됨에 따라 위쪽으로 올라가면서 벌어지게 되고 열린 공동을 형성하게 된다.

유동형성 과정에서 스프레이(spray)의 형상은 운동체 두부형상과 속도 그리고 중량에 따라 달라지는데, 스프레이가 발생하기 위해서는 중량과 속도가 충분히 커야 한다. 콘(cone) 형태의 두부를 갖는 물체가 입수할 때에는 바깥으로 벌어지는 스프레이가 형성되고, 직각실린더 형태의 물체가 입수할 때에는 안으로 오므라드는 스프레이가 형성된다. 따라서 고속입수체의 두부형상을 고려할 때 바깥으로 벌어지는 공동이 발생될 것으로 추측되며, 이후에 두부덮개의 파열과 관련하여 복잡해지는 유동특성에 대해서는 현재로 추측할 방도가 없다.

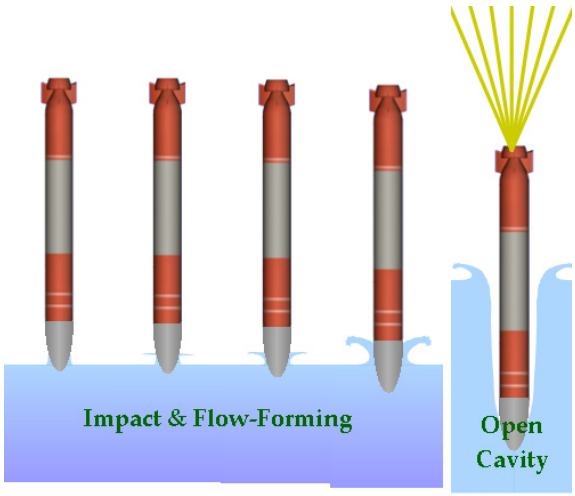


Fig. 1. 유동형성과 열린공동

열린공동은 표면장력에 의하여 다시 닫히게 되는데, 고속입수체의 경우에는 Fig. 2와 같이 두 가지 형태의 수면닫힘을 생각할 수 있다. 일반적으로 수면닫힘의 발생 시간은 두부 형상, 속도, 중량에 의존하고, 경험적으로 추정이 가능하지만[1], 고속입수체의 경우에는 입수 과정에서 두부덮개가 파손됨으로 인하여, 정량적 추정이 매우 어렵다.

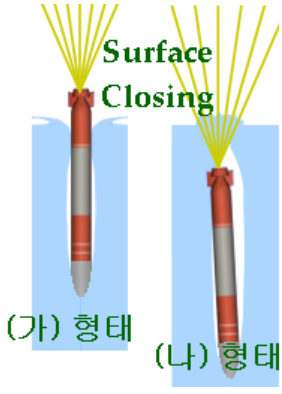


Fig. 2. 수면닫힘

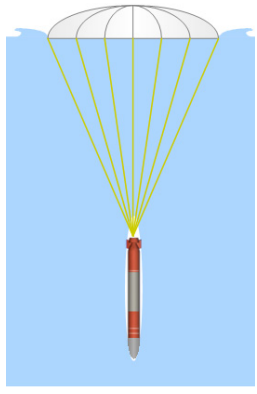


Fig. 3. 낙하산 입수

Fig. 2의 (가)형태와 같이 입수체 중앙부에서 수면닫힘이 발생하는 경우에는 입수체의 후부가 닫힌 수괴를

뚫고 입수하게 되고, (나)와 같이 입수체를 완전히 감싸도록 수면이 닫히는 경우에는 이후에 입수체가 기울어짐(whipping)에 의해 후부가 공동 벽면에 부딪히게 될 것이다. 이러한 현상을 공동벽면에 대한 후부충돌(tail-slap)이라 한다. (가)형태의 경우에서도 수면닫힘 이후에 시간이 진행함에 따라 공동은 계속하여 길어지므로 입수체가 공동 내부에 놓이게 될 것이고, (나)와 같은 메커니즘으로 후부충돌이 발생할 수 있다.

고속 입수시험의 계측자료를 면밀히 검토해 본 결과, Fig. 3과 같이 낙하산이 완전 침수되어 강한 항력으로 뒤에서 잡아당기는 순간에 입수체의 자세에 큰 변화가 발생하고, 공동벽면에 강한 충돌이 발생할 것으로 추측되고 있다.

나. 제어판 충격력 발생과정에 대한 추측

가. 의 입수 현상에 대한 고찰에서 제어판에 작용할 수 있는 충격유체력의 발생 시점으로서 다음의 경우들을 생각할 수 있다.

- 경우 1. 수면닫힘 이후에 닫힌 수괴를 입수체가 뚫고 지나갈 때
- 경우 2. 수면닫힘 유동이 입수체 후부를 타격할 때
- 경우 3. 열린공동 또는 닫힌 공동 내부에서 입수체가 기울어짐에 따라 입수체 후부가 공동벽면에 부딪히게 될 때

경우 1에서는 후부가 닫힌 수면을 지나가는 동안 제어판의 받음각이 매우 작을 것으로 예상되므로, 제어판 구동축에 손상을 줄 정도의 충격이 발생하지는 않을 것으로 예상된다. 경우 2와 경우 3의 경우에는, 평판이 물에 들어가는 것처럼 제어판의 한쪽 면에 유체력이 작용할 것인데, 경우 2보다는 경우 3이 개연성이 있을 것으로 추측된다.

다. 경사입수에 대한 고찰

입수체가 60도 이내의 경사각을 가지고 입수하게 되는 경우에 입수 진행 방향으로 큰 스프레이가 발생하는 반면 반대방향으로 작은 유동이 형성된다.

경사입수에서는 수직입수에 비하여 큰 공동이 발생되고, 입수체는 공동벽면을 타고 이동하는 상태가 되어 마찰항력 또한 크게 작용함으로써, 단시간 내에 감속이 될 것으로 추정되며, 이에 따라 제어판이 받는 유체력은 상대적으로 작아질 것으로 추정된다.

4. 모델링

가. 제어판 유체력 작용 과정

3. 다. 에서의 경우 2(수면닫힘에 의한 유체력의 작용)와 경우 3(공동벽면에 후부충돌에 의한 유체력의 작용)은 두 경우 모두 동일하게 Fig. 4와 같이 입수체 후부에서 제어판에 유체력이 작용되도록 유동이 형성될 것으로 추측된다. 공동 벽면을 경계면으로 하여 제어판이 충돌하고 연이어 공동 속으로 빠져 들어감에 따라 제어판 구동축에 손상을 줄 정도로 큰 유체력이 제어판에 작용할 수 있을 것으로 가정한다.

나. 경사입수에 대한 고찰

가. 의 가정에 따라 Fig. 5와 같이 제어판이 공동벽면에 충돌 후 점진적으로 입수하는 평판과 같은 유체력을 겪는 것으로 모델링한다. 후부의 다른 구조물의 영향에 의하여 공동 벽면 및 유선이 모델과 같이 깨끗할 수 없으나, 임의의 상황에서 제어판에 가장 심각한 상황을 도출하는 모델이 될 것이다. 이러한 모델은 마치 비행하는 평판이 수면위에 착륙하는 과정과 유사하다고 할 수 있다.

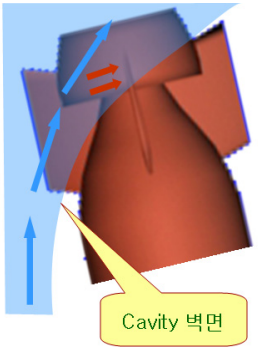


Fig. 4. 유체력 작용 과정

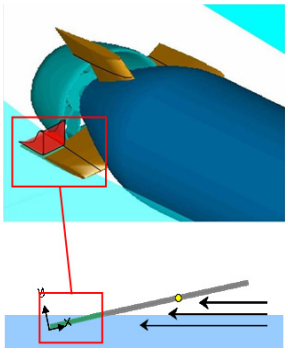


Fig. 5. 해석 모델

5. 유체력 추정방법

Fig. 6은 착륙하는 평판에 의해 자유수면의 변형과 작용하는 압력분포의 예를 보여준다. 진행방향으로 splash-up이 발생하고, 최대압력점은 길이방향으로 정수면과 만나는 x_d가 아니라 좀 더 앞쪽 x_m에 위치한다.

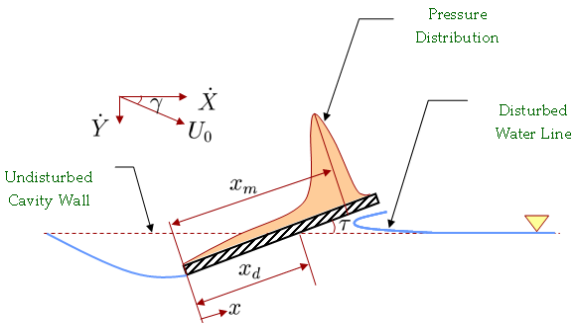


Fig. 6. 평판 입수 모델

가. 활주와 충격입수

Smiley는 5ft(길이) × 3ft(폭)의 평판의 착륙에 대한 실험을 수행하였다[2].

평판이 물에 잠긴 채 활주를 하는 경우(정상상태)에는 다음의 식 (1)과 같이 전진 속도 $\dot{X}$에 의해 최대압력 p_p를 도시하였다.

$$p_p / \left[\frac{1}{2}\rho \dot{X}^2\right] \tag{1}$$

충격입수의 경우에는 다음의 식 (2)와 같이 상하방향 속도 $\dot{Y}$ 성분을 고려하여 최대압력 p_p을 도시하였다. cot(τ)항으로 포함되는 수직속도 성분의 영향은 곧 입수 충격을 표현하는 것이 된다.

$$p_p / \left[\frac{1}{2}\rho (\dot{X} + \dot{Y}\cot\tau)^2\right] \tag{2}$$

시험결과로부터 활주상태와 충격입수상태 모두 무차원화 최대압력은 1 부근의 값을 가지는 것을 확인하였고, 이에 따라 활주 또는 충격 입수하는 평판에 작용하는 최대압력이 유체 동압에 의해 표현될 수 있음을 알 수 있다. 식 (2)는 τ가 감소함에 따라 매우 큰 값을 가질 수 있음을 의미하고 이것은 운동량 이론에 의거한 von Karman 또는 Wagner의 선저각(deadrise angle)에 따른 2차원 평면의 충격 표현식과 동일한 맥락을 갖는다.

von Karman 또는 Wagner 추정식 모두 받음각이 감소하여 평판처럼 작용될 때 무한대의 최대압력이 추정되는데 이것은 실제 실험결과와 큰 차이가 있고, Chuang 등은 이에 대해 공기포획 효과 등에 대해 지적하고 받음각이 작은 경우에 대한 추정식을 별도로 제시하였다. Fig. 7은 Okada & Sumi가 평판 입수충격 시험으로부터 Wagner 추정식으로 작은 선저각에 대한 입수충격을 추정할 수 없음을 보여주고 있다[3]. Okada & Sumi의 결과로 선저각이 약 3~4도일 때 최대충격을 받을 것으로 예상되며, 보다 큰 받음각에서도 Wagner의 추정식은 실제 값보다 과도한 충격을 추정할 것으로 예상된다.

Smiley는 실험결과로부터 Table 2와 같이 받음각에 따라 무차원화된 최대압력을 보정(최대압력 계측결과에 대한 평균)하여 압력분포를 추정한다.

Table 2. 받음각에 따른 최대압력

받음각	6도	9도	12도	15도
무차원최대압력	0.7	0.8	0.9	1.0

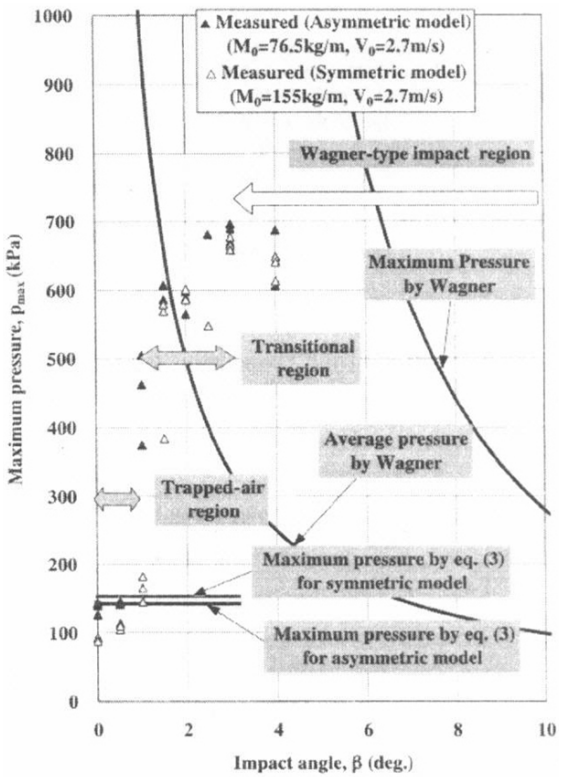


Fig. 7. 작은 선저각에 대한 입수충격

한편 Smiley는 충격입수 과정의 초기에 다음의 식 (3)과 같이 수정계수 N을 이용하여 최대압력을 표현할 수 있음을 보였다.

$$p_p = \frac{1}{2}\rho(\dot{X} + \dot{Y}\cot\tau)^2 \times N \quad (3)$$

여기서, 수정계수 N은 다음과 같이

$$N = 1 + 2\cos\tau\left[\frac{\sin\gamma}{\sin(\gamma+\tau)}\left(\frac{dx_m}{dx_d} - 1\right)\right] + \left[\frac{\sin\gamma}{\sin(\gamma+\tau)}\left(\frac{dx_m}{dx_d} - 1\right)\right]^2 \quad (4)$$

비행경로각 γ와 입사각 τ, 그리고 최대압력점의 위치변화율 dx_m/dx_d에 의해 결정될 수 있고, 5ft 길이 × 3ft 폭의 평판에 대한 그의 실험에서는 x_d = 3ft 일 때 dx_m/dx_d = 1로 수렴함으로서 수정계수 N가 1이 됨을 알 수 있다. Smiley는 수정계수를 적용하는 이유에 대하여, 평판이 잠긴 깊이가 얕을 경우에 임의의 시간 동안 평판이 진행함에 따라 진행방향의 스플래쉬가 상승함(splash -up)으로 인하여 부가적인 힘이 증가하게 되는 것으로 설명하고, 식 (4)의 수정계수는 상승수면의 보정량에 의하여 유도됨을 보였다.

Smiley의 실험결과와 시험체의 장폭비를 고려할 때 입수체 제어판의 입수과정에서 N의 영향은 코드방향으로 스팬만큼 잠기게 되면 사라지게 될 것으로 추정되어, 제어판 구동축에 최대토오크를 유발하는 길이가 이에 비해 상당히 크므로, 최대토오크를 추정하는데 있어 이를 고려하지 않는다.

나. 압력분포

Smiley는 입수하는 평판의 압력분포를 추정하기 위한 반경험적 방법을 제시하였는데, Pierson & Leshnover의 활주평판에 대한 이상유동에 의한 표현식을 실험 결과로 보정하여 사용하는 것이다[4,5].

1) 평판 중심선에서 길이(코드)방향 압력분포

활주조건에 대하여 Pierson & Leshnover의 압력분포식을 쓰게 되면, 다음과 같다. 등각사상에 의해 해를 구함으로써 매개변수 $-1 \le \xi \le 1$가 도입되어 있다.

$$\frac{p(\xi)}{(\rho/2)\dot{X}^2} = 1 - \left(\frac{\xi - \cos\tau}{1 - \xi\cos\tau + \sin\tau\sqrt{1-\xi^2}}\right) \quad (5)$$

$$\frac{x\pi}{\delta} = \frac{1}{1-\cos\tau}\left[(1+\xi)\cos\tau - (1-\cos\tau)\ln\left(\frac{1-\xi}{2}\right) - \sqrt{1-\xi^2}\sin\tau - \sin\tau\cos^{-1}\xi + \pi\sin\tau\right] \quad (6)$$

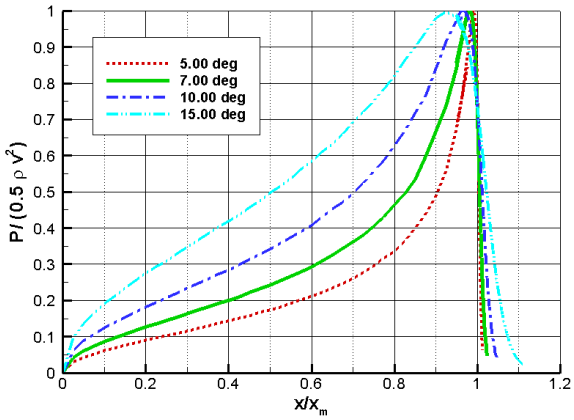


Fig. 8. 받음각에 따른 압력분포

$$\frac{x_m\pi}{\delta} = \left[\frac{1+\cos\tau}{1-\cos\tau} - \ln\left(\frac{1-\cos\tau}{2\cos\tau}\right) + \frac{\pi\sin\tau}{1-\cos\tau}\right] \quad (7)$$

Fig. 8은 식 (5), (6) 그리고 (7)을 이용하여 도시한 압력분포이다. 최대 압력은 유동의 동압에 해당하고 최대압력 지점은 곧 유동의 정체점(stagnation point)에 해당된다.

2) 횡방향(스팬방향) 압력분포

평판이 아니라 수상비행기와 같이 wedge 형태의 바닥형상을 가지는 물체가 착륙할 때의 압력분포를 기술하기 위하여 횡방향압력 분포와 길이방향 압력분포를 동시에 표현할 수 있도록 Smiley[4]는 다음과 같은 식 (8)의 최대압력식을 제안하였다.

$$\frac{p_p}{\rho\dot{z}^2/2} = \frac{1}{\sin^2\tau + (4/\pi^2)\tan^2\beta\cos^2\tau} \quad (8)$$

becomes 1 when $\tau = 90^o$
goes to $\pi^2\cot^2\beta/4$ (Wagner Relation) as $\tau = 0$ and $\beta \to 0$ (9)

(9)에 나와 있는 부연에서와 같이 물리적으로 보다 타당하도록 받음각 90도에 대하여 최대압력이 1이 되도록 하였다. 그러나 von Karman 또는 Wagner의 wedge 입수충격 추정식에서와 같이 선저각(deadrise angle)이 0으로 수렴함에 따라 최대압력은 무한대로 증폭됨을 알 수 있다. 즉 이러한 표현은 실제 평판의 압력분포를 추정하는 데에 부적합하다. 여기서는 횡방향 압력분포를 고려하여 길이방향의 압력분포의 95%를 취하는데 이에 대해서는 다음 절에서 검토한다.

3) 실험결과에 대한 고찰

Fig. 9는 Smiley의 반경험적 추정법과 실험 결과의 비교 결과를 인용한 것이다[4]. 결과로부터 평판 중심선을 따라 길이 방향의 압력 분포에 대한 이론적 추정값은 비교적 실험값과 잘 일치함을 알 수 있다. 그러나 횡방향 분포에 대한 추정값은 실험결과를 충분히 설명하지 못하는 것으로 판단된다. Smiley의 압력분포를 추정하기 위한 반경험적 방법은 실험결과로부터 평균수직압력계수를 취한 후, 그 값을 0.95로 나누어 길이방향 중심선의 압력계수로 사용할 것을 제시하였다[4]. 이것은 역으로 길이방향 중심선의 압력을 안다고 하면 횡방향으로 95%의 평균압력이 작용하는 것으로 바꾸어 말할 수 있다. 따라서 여기서는 압력분포에 의한 유체력을 계산함에 있어 횡방향 압력분포를 고려하여 0.95의 값을 곱하기로 한다.

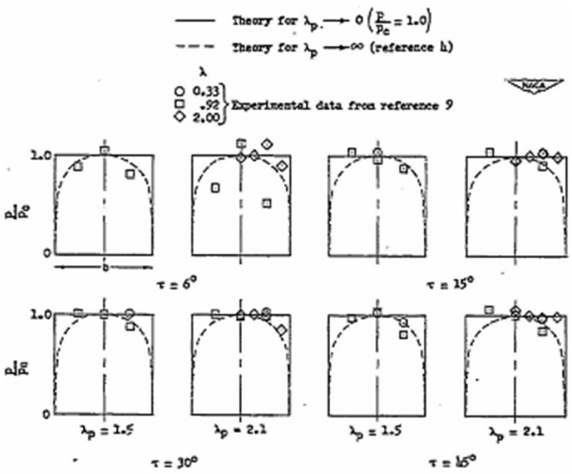


Fig. 9. 횡방향 압력분포에 대한 실험/이론 비교

4) 압력분포 계산법에 대한 정리

본 논문에서는 식 (5)의 압력분포식이 실험 결과를 크게 왜곡하지 않으므로 식 (5)에 의해 길이방향의 중심선에 대한 압력분포를 구하되, Smiley의 실험결과에 따른 Table 2의 결과에 따라 압력분포를 보정하고, 제어판 구동축에 대한 모우먼트를 구함에 있어 스팬방향으로 평균압력으로서 중심선 압력에 다시 0.95를 곱하여 압력분포를 산정한다. 이를 정리하면 식 (10)과 같다.

$$p(x)/\left[\frac{1}{2}\rho(\dot{X}^2+\dot{Y}\cot\tau)^2\right] = C_p(\xi)\times 0.95\times C_\tau(\tau) \quad (10)$$

여기서 $C_p(\xi)$는 식 (5)의 압력분포식의 우변에 해당하고 $C_\tau(\tau)$는 Table 2에 의한 받음각에 따른 보정계수이다. 식 (10)의 압력분포로부터 제어판 구동축에 작용하는 토오크는 잠긴 깊이에 따른 압력분포로부터 다음의 식 (11)과 같이 구해진다.

$$\text{Torque} = \int_0^\infty p(x)(x_c - x)dx \quad (11)$$

다. 입수속도의 감속효과

일반적으로 입수체가 충격입수하는 경우에 일정속도로 활주하는 경우와 달리 충격압에 의하여 감속될 수 있다. 감속의 영향에 대하여 Smiley는 Wagner(1931)의 유도 결과로부터 압력 분포로 표현할 수 있음을 언급하였다. 결과적으로 이것은 충격 유체력을 감소시키게 된다.

그러나, 본 논문에서 다루어지는 문제는 제어판의 운동이 입수체 전체의 운동에 종속되어 있어서 충격과정에서 임의의 감속이 발생되기 어렵기 때문에 제어판이 공동벽면과 접촉하는 동안의 속도는 일정하다고 가정한다.

6. 제어판 구동축 토오크 계산

가. 접속 속도 추정

투하시험의 결과로부터 고속입수체의 입수거동을 추정해 보면, 입수에 의하여 공동이 형성되고, 입수체가 공동 속에 있는 상태에서 낙하산이 입수하는 순간에 강한 항력으로 입수체를 낚아채는 것으로 추정되며, 이 때부터 심도센서(압력센서)는 음압에서 양압으로 증가를 시작하고 제어판의 변위가 크게 움직이기 시작한다.

이상의 과정에서 유추할 때 낙하산이 입수체를 뒤에서 낚아채는 순간 공동 속의 입수체가 심한 동요를 하게 되고, 그 과정에서 제어판이 공동 벽에 다수 충돌하게 될 것으로 추측할 수 있다.

제어판 유체력 계산 조건으로서 투하시험으로부터 얻어진 IMU 가속도계 측정자료를 비롯한 입수체의 운동데이타를 검토하여 공칭조건으로서 제어판의 공동벽면 충격시점의 속도는 전진방향으로 40m/s, 횡방향으로 5m/s로 설정하였다.

나. 제어판과 공동벽면의 접촉각 추정

Fig. 10에서 보이는 바와 같이 제어판 접촉각의 추정을 위해서 입수공동의 형상을 추정한다. 입수공동 형상의 추정을 위하여 이상유동의 가정에 의한 May의 공동형상식과 Semenenko에 의한 반경험식에 의한 추정식을 이용하여 각각 추정하였다[1,6]. 이상공동(Ideal cavity)은 다음과 같이 가정한다.

- 물체가 수면에 수직으로 입수한다.
- 일정한 속도로 입수한다.
- 공동 내의 압력은 주위압력과 같다.
- 중력은 무시한다.

중력이 없는 현상은 비현실적이나, 아주 짧은 시간 동안 개개의 공동 단면에서는 중력의 효과는 무시할 수 있을 것이다. 이상공동 형상식은 매개변수 t를 이용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$x = \frac{L}{4+\pi}\left[t\sqrt{t^2-1} - \log\left(t+\sqrt{t^2-1}\right)\right] \tag{12}$$

$$y = \pm\frac{L}{2} \pm \frac{2L}{4+\pi}(t-1) \tag{13}$$

여기서, $t \geq 1$, L은 평판의 길이

Fig. 11에서와 같이 이상유동에 의해 공동벽면을 추정하였을 때 입수체의 운동에 의해 제어판이 공동벽면과의 접촉각은 7.03도로 추정되었다.

Semenenko는 Logvinovich(1973)와 Savchenko et al. (1999)로부터 다음의 반경험식을 제시하였다[6].

$$\bar{R} = R(x)/R_n = \begin{cases} (1+3\bar{x})^{1/3} & \text{if } \bar{x} \leq 2.0 \\ \sqrt{3.659 + 0.847(\bar{x}-2.0) - 0.236\sigma(\bar{x}-2.0)^2} & \text{if } \bar{x} \geq 2.0 \end{cases} \tag{14}$$

여기서 R은 공동반경, R_n은 원판 반경, $\bar{R} = R/R_n$, $\bar{x} = x/R_n$

반경험식에 의해 공동벽면을 추정하였을 경우에는 입수체가 수심 3m에 위치하였을 때 6.28도, 5m에 위치하였을 때 6.74도의 접촉각을 가지는 것으로 추정되었다.

이상의 공동 형상 추정에 의한 접촉각 추정 결과에 대하여 공칭접촉각을 7도로 설정한다.

다. 제어판 제원과 계산 모델

입수체의 제어판 형상은 계산의 편의를 위하여 Fig. 12와 같은 직사각형 평판으로 치환하여 유체력을 추정하였다.

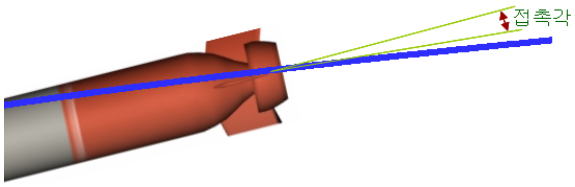


Fig. 10. 공동벽면과 제어판의 접촉

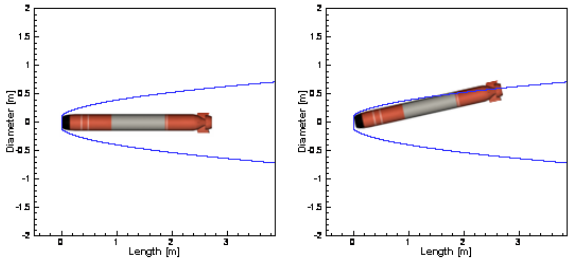


Fig. 11. 이상공동에 의한 공동벽면 추정

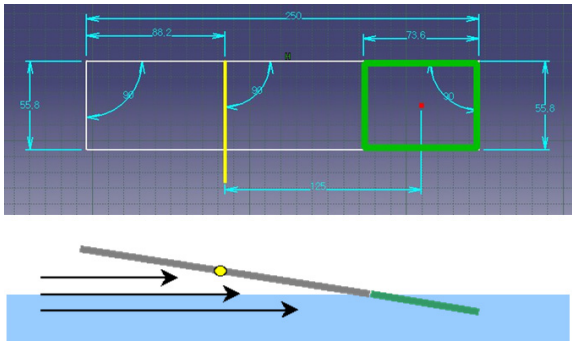


Fig. 12. 계산 모델

라. 계산 결과

Fig. 13은 공칭 속도조건에 대해 제어판이 공동벽면에 충돌입수하는 과정에서 잠기는 깊이에 따라 달라지는 유체력에 의한 구동축 토오크 추정 결과이다. 접촉길이의 원점은 제어판의 꼬리 끝단이다. 공동 형상의 추정으로부터 도출된 공칭접촉각 7도에 대해서 최대토오크는 접촉길이 0.12m 정도에서 약 380N-m로 추정되었다.

해상입수시험에서 발생한 구동축 변형 및 제어판 회

전에 의한 전기적 응답 수준을 모의충격시험을 통하여 유사하게 재현하였으며, 그로부터 재현된 충격토오크는 약 300N-m 였다. 유체력 해석에 의한 결과와 충격재현시험으로부터 추정한 결과를 비교할 때, 해석에 의해 추정된 최대토오크 값이 실제 물리현상을 잘 반영하고 있는 것으로 평가된다.

해석결과의 최대토오크 값을 기준으로 볼 때, 구동축 보강만으로는 안전성의 확보가 어려워, 해석결과를 토대로 Fig. 14와 같이 제어판부 손상을 방지하기 위한 제어판 지지구조가 설계되었으며, 구조해석 및 실험을 통하여 고속입수체의 입수 안전성 확보에 적합한 지지구조임을 확인하였다.

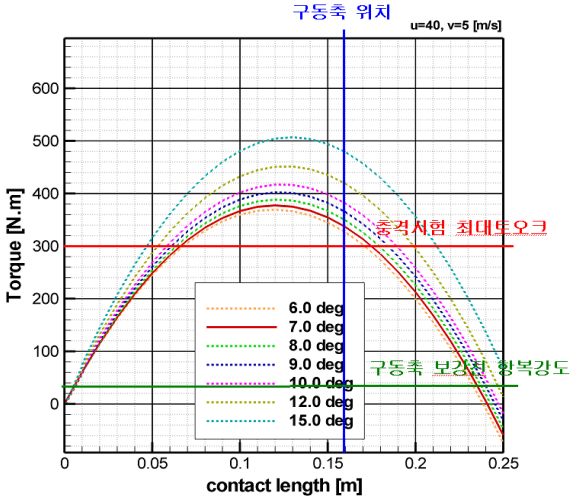


Fig. 13. 제어판 공동충돌 과정에서 구동축 토오크 변화 추정값과 실험실 시험결과의 비교

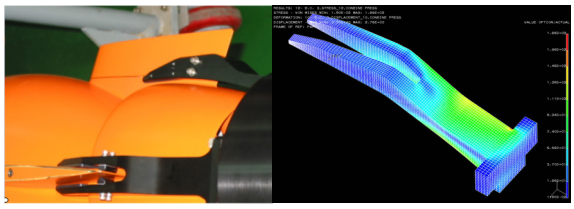


Fig. 14. 제어판 지지구조와 구조해석결과

7. 결 론

본 논문에서는 고속입수체의 입수과정에서 발생되는 제어판 구동축의 손상문제에 대한 물리적인 현상 분석과 제어판 구동축에 작용하는 최대토오크를 정량적으로 추정하였다.

입수과정의 물리 현상 및 유동 특성을 정성적으로 분석하여 제어판과 공동 벽면의 접촉 순간, 운동 특성 등에 대한 공칭조건을 설정하고 충격토오크를 모델링하여 작용 유체력을 추정함으로써 구동축에 작용하는 최대토오크를 예측하였다.

해석을 통하여 추정된 최대토오크는 해상시험에 대한 충격재현시험 결과와 비교할 때 실제현상을 잘 반영하는 것으로 판단되며, 고속입수체의 입수 안전성을 보장하는 지지구조의 설계, 제작을 위한 가이드라인을 제시하였다.

Reference

[1] May A., “Water Entry and the Cavity-Running Behavior of Missles”, Navsea Hydroballistic Advisory Committee, 1975.

[2] Smiley, R. F., “An Experimental Study of Water-Pressure Distributions During Landing and Planning of a Heavily Loaded Rectangular Flat Plate Model”, NACA(National Advisory Committee for Aeronautics) Tech. Note 2453, Sep. 1951.

[3] Okada, S. and Sumi, Y., “On the Water Impact and Elastic Response of a Flat Plate at Small Impact Angles”, Journal of Marine Science and Technology, 2000.

[4] Smiley, R. F., “A Semiempirical Procedure for Computing the Water-Pressure Distribution on Flat and V-Bottom Prismatic Surfaces during Impact or Planing”, NACA(National Advisory Committee for Aeronautics) Tech. Note 2583, Dec. 1951.

[5] Pierson, J. D. and Leshnover, S., “An Analysis of the Fluid Flow in the Spray Root and Wake Region of Flat Planning Surfaces”, Report SIT-DL-48-335, Oct. 1948.

[6] Semenenko, V. N., “Artificial Super-cavitation, Physics and Calculation”, in RTO/NATO(Research and Technology Organization of NATO) Lecture Series 005 Supercavitating Flow, RTO-EN-010, 2002.