

Sump관련 국내 및 국제 규격

유체기계공업학회 펌프분과, 한국수자원공사

1. 국내 및 국제 규격 범위

현재 국내에서 사용되고 있는 sump 관련 규격은 상수도 시설기준 기계 및 전기·제측제어설비 펌프설치 및 부속설비에서 흡수정 설계에 관한 기준이 현재 국내에 있는 것 중 유일하지만 그 범위가 너무 빈약하고 설계기준으로 참고하기에는 부족함이 많다. 따라서 선진외국의 코드 즉 미국의 HI코드 (Hydraulic Institute Code)와 일본 JSME S 004-1984 규격을 많이 참조하고 있는 실정이다.

현재 일본 JSME 규격은 일본 터보기계학회에서 펌프흡입수조 모형시험법 기준개정위원회를 조직하여 JSME의 불합리한 점을 새롭게 개정 중에 있으며 2004년 말에 공표될 예정으로 있다. 따라서 기존의 JSME 규격보다는 본문에는 새롭게 개정될 규격을 번역하여 표기하였다.

2. 일본 터보기계학회의 흡입수조 규격의 개요

새롭게 개정되는 규격은 표 1에서 볼 수 있듯이 시험결과의 판정, 상사법칙에 관한 내용, 보텍스 발생의 판정과 평가내용 등이 수정되었으며 새로운 것은 전산 유체역학(CFD)에 의한 보텍스의 파악이 포함되었다는 것이다.

자유표면의 변형을 동반하는 비정상 와의 흐름을 정확하게 표현하는 것은 현재로서는 쉽지 않지만 모형 시험에 의한 외발생의 평가를 지원하는 객관적인 데이터의 수집이라는 점에서 CFD에 의한 수치 시뮬레이션은 매우 유용하며, 벤치마크 테스트를 통해서 각종 계산법의 특징을 명확하게 하는 조사연구는 획기적이며, 국내규격에서도 반영되어야 할 것이다. 이를 조사하기 위하여 연구용역 기간 중 일본의 Yokohama 대학과 히타치 인더스트리리치 츠치우라사업소를 방문하였다.

3. 일본 터보기계학회의 흡입수조 규격(안)

〈펌프의 흡입수조의 모형시험방법에 관하여〉

펌프흡입수조 모형시험법
기준개정위원회 위원장
Kamemoto

3.1 머리말

최근, 펌프의 대형·고속화에 의해 흡입수조 내의 유속을 보다 고속으로 하므로 수조의 소형화가 요구되고 있다. 흡입수조 형상이 부적당하면, 공기흡입이나 수증 와가 발생하기 쉽고, 이와 같은 보텍스가 발생하면, 진동·소음을 발생하고, 펌프성능이 저하하므로, 미리 공기흡입 보텍스나 수증 보텍스가 발생하지 않는 것을 확인할 모형시험의 중요성은 한층 높아지고 있다.

3.2 모형시험에 있어서의 기본적인 문제

3.2.1 상사법칙에 관하여

1984년 1월에 제정된 일본기계학회 기준 「펌프의 흡입수조의 모형시험법」(JSME S 004-1984)은, 제정 이후 수정이나 개정이 행해지지 않았으므로 일본 기계학회의 규정에 의해 2002년 5월에 폐지에정 공고되었다. 한편, 이 기준은, 펌프흡입 수조의 계획에 많이 이용되었으며, 기준의 폐지는 펌프의 상거래에도 지장을 초래하는 것이 판명되고, 주로 펌프산업계로부터 기준 존속의 필요성이 지적되어 왔다. 그러나 일본 기계학회에는 현재의 단계에 이 기준을 심의할만한 조직이 없기 때문에, 가장 밀접한 터보기계협회에서 심의하고, 필요하면 개정할 것의 요청이 펌프산업계로부터 있었다. 이 요청에 응하기 위하여, 2003년 3월 터보기계협회에 「펌프의 흡입수조의 모형시험법 기준

표 1 일본 흡수정 관련 규격의 개정 전/후의 변경사항 비교표

No.	항목	구기준(JSME S004-1984)	신기준(TSJ S001:2004)
1	발행처	(사)일본기계학회	터보기계협회
2	심의부서	펌프의 흡입수조의 모형시험법 검토분과회	펌프의 흡입수조의 모형시험기준 개정 위원회
3	7. 시험결과의 판정	표1에서는 등급 I, 등급 II의 2개의 등급으로 분류하고 있고, 해설 2.2에서는 등급A, 등급B, 등급C의 3개의 등급으로 분류하여 용도와 와 형태에 관하여 해설하고 있어서 혼동하기 쉬움.	I, II, III의 3등급으로 분류함.
4	7. 시험결과의 판정, 관찰시간	5~10분으로 명확하지 않음.	I, II, III의 등급별로 관찰시간을 10분과 5분으로 명확히 함.
5	해설 1.6 시험방법	해설에 1.4절 없음. 1.6.2(1) 공기흡입와 시험	1.5.2(1) 공기흡입와시험 유속이 빠른 경우에 공기흡입와가 약해지는 사례를 소개함.
6	1.7 시험결과의 판정	관찰시간에 대한 설명이 명료하지 않음.	1.6.3 관찰시간의 항을 추가함.
7	해설 2. 흡입수조의 표준형상	해설도 2.1~2.7에 형상, 치수의 예를 제시하고 있음.	본 기준은 모형흡입수조의 시험에 관한 기준으로, 수조형상 그 자체를 규정하는 기준은 아니므로 삭제함. 그 대신 표준적인 수조형상을 규정하고 있는 관련 기준 등을 해설표 2.1에 보임.
8	해설 3. 보텍스방지장치	보텍스방지장치의 분류, 형상 등에 대하여 해설하고 있음.	본 기준의 목적과 다르므로 삭제함.
9	4. 수조의 실례	수조의 실례로서 10개의 사례가 게재되어 있음.	모형흡입수조 시험을 행하고 실제의 수조를 설계한 사례로, 구 기준의 발행년도 이후에 실시된 7건의 흡입수조의 사례를 소개함.
10	CFD에 의한 수조내 유동과 와의 평가	해설에는 기재되지 않음.	최근 현저하게 발전된 CFD(전산유체역학, Computational Fluid Dynamics)에 의한 흡입수조의 유동과 와의 최신 시뮬레이션 기술을 개략적으로 설명함.
11	색인	없음	추가함

개정 위원회」(위원장은 필자)가 설치되고, 일본기계학회 기준의 수정과 터보기계협회 기준안의 작성을 목적으로, 현재 활발한 조사·연구 활동이 행해지고 있다.

본 논문은 터보기계협회 편집위원회의 의뢰에 의해 펌프흡입수조 모형시험 기준개정에 관련된 본질적인 과제에 관하여 해설하고, 이에 관한 국내외의 동향의 개요를 소개하고자 한다. 자유표면을 갖는 펌프흡입수조의 흐름은, 수조벽면, 구조물 및 흡입관 외벽 주위에 발달한 경계층의 박리나 그에 동반된 보텍스 형성에 의해 영향을 받을 뿐만 아니라, 물결이나 표면 보텍스에 의한 자유표면의 변형에 의해 복잡한 유동양식을 형성한다. 일반적으로 경계층의 발달이나 박리 현상은 유체의 점성에 의해 지배되고, 또한 자유표면의 물결이나 변형은 중력의 작용에 의해 발생하는 것

은 잘 알려져 있다. 따라서 모형수조 내의 흐름을 실제의 흐름과 상사시키기 위해서는, 흐름의 관성력에 대한 점성력이나 중력의 영향을 모형과 실물에서 같은 비율로 할 필요가 있지만, 각각을 규정하는 레이놀즈 수(Re)와 프라우드 수(Fr)를 동시에 같게 하여 모형 시험을 행하는 것이 불가능하므로 모형시험을 실시할 때 상사치를 어떻게 규정할까 하는 것이 기본적인 문제이다.

즉, 펌프흡입수조 내의 대표길이를 L, 대표유속을 V, 물의 동점성계수를 ν , 중력가속도를 g라고 하면, 레이놀즈 수와 프라우드 수는 각각 $Re=VL/\nu$ 및 $Fr=V/(g \cdot L)^{0.5}$ 로 표현되므로, 모형시험과 실물에 각각 침자(m) 및 (p)를 붙여서 양 상사치에 근거한 유속비와 모형비의 관계를 구하면 다음과 같이 된다.

Re수를 일정하게 한 경우

$$\frac{V_m}{V_p} = \left(\frac{L_m}{L_p} \right)^{-1} \quad (1)$$

Fr수를 일정하게 한 경우

$$\frac{V_m}{V_p} = \left(\frac{L_m}{L_p} \right)^{0.5} \quad (2)$$

이처럼 2개의 기본적인 상사법칙을 동시에 만족하는 것은 곤란하므로, 모형시험을 실시할 때에 어떤 속도비를 채용할까 하는 것은 중요하며, 모형시험 기준을 정해야 하는 필요성의 하나이다.

펌프흡입수조에 발생하는 보텍스는 자유표면과 펌프흡입구를 연결하는 보텍스와, 수조벽면과 펌프흡입구를 연결하는 보텍스로 크게 구별된다. 상사치의 관점에서 보면 전자는 Fr수가 지배적이며, 후자는 Re수가 지배적인 것은 쉽게 추측된다. 지금, 모형시험에 적용하는 유속비와 모형비의 관계를 지수 n을 이용하여,

$$\frac{V_m}{V_p} = \left(\frac{L_m}{L_p} \right)^n \quad (3)$$

라고 하면, 기존의 일본기계학회 기준(JSME S 004-1984)에서는, 실적이나 실험연구결과에 근거하여 자유표면과 펌프흡입구를 연결하는 보텍스 중에서 공기흡입 보텍스에 대한 상사조건으로서,

$$\text{공기흡입 보텍스 } n = 0.2 \text{ (중간유속)} \quad (4)$$

로 하고 있다. 또한, 수조벽면과 펌프흡입구를 연결하고 캐비티를 동반하는 수중 보텍스에 대한 상사조건으로서는,

$$\text{수중 보텍스 } n = 0.2 \text{ } V_m = V_p \text{ (실유속)} \quad (5)$$

을 규정하고 있다. 또한, 스크린 상류측도 포함한 펌프장의 광범위한 유동상태를 모형시험의 대상으로 하는 경우의 상사조건으로서 Fr수 일치 (n=0.5)를 기준으로 하는 것을 추가하고 있다.

상사법칙에 관한 참고문헌으로서, 자유표면 보텍스에 관한 모형시험과 실기관측결과의 많은 실험소개나 농업용 파이프라인의 실(seal)의 모형실험 결과의 소개 등이 있다.

3.2.2 보텍스 발생의 판정과 평가에 관하여

펌프의 운전에 지장을 주는 보텍스 발생의 유무를 판정하고, 수조의 건전성을 평가하는 것이 모형시험의 중요한 목적이다. 그러나 흐름의 조건이 발생한계 부근에서는 보텍스가 간헐적으로 발생하는 비정상 흐름으로 될 뿐만 아니라 상류로부터 동반된 난동성분이나 수면의 물결의 영향을 받기 쉬우므로, 실물에 있어서 보텍스 발생의 유무를 모형시험에 의해 적절히 평가하기 위해서는 어떠한 평가·판정법을 채용하면 좋을까 하는 것이 모형시험에 있어서 또 하나의 문제점이다.

이와 관련하여 일본기계학회 기준(JSME S 004-1984)에서는, 시험장치의 요건이나 시험방법의 요점을 정하고 있다. 시험방법의 항에는, 공기흡입 보텍스 시험 및 수중 보텍스 시험 모두 실물펌프의 운전범위로부터 정해진 최저수위에 있어서 최대유량으로 시험을 행하는 것으로 하고 있다. 또한, 수중 보텍스의 시험에 있어서 수면의 물결이 심한 때에는, 필요에 따라 자유표면에 막을 치던지 수위를 높여 시험을 해도 무방하게 정하였다.

또한, 이러한 시험에 있어서 보텍스의 관찰은, 하나의 조건에 대해 5~10분간 관찰하는 것으로 기재되어 있다.

이 기준으로부터도 분명한 것처럼, 보텍스 발생의 판정과 평가에는 수조에의 유입 난류특성이나 수면의 물결뿐만 아니라 보텍스 발생의 비정상성에 관해서도 고려할 필요가 있다. 이와 같은 보텍스 흐름을 동반하는 비정상유동은 유체역학적으로 매우 흥미 있는 현상이지만 3차원성이 강한 복잡한 흐름이기 때문에 지금까지 기초적인 실험이나 수치해석이 행해졌지만 비정상성에 주목한 흡입 보텍스에 관한 연구는 충분히 행해지지 않았다. 따라서 보텍스 발생의 판정과 평가법에 관해서는, 주로 종래의 기준에 근거한 풍부한 모형시험의 실적이나 종래의 연구결과에 근거하여 토론될 것이다.

또한 이에 관해서는 유입난류나 물결의 영향을 포함한 흡입수조 내 보텍스 발생의 비정상 특성에 관한 체계적인 조사연구가 행해져야 할 것이다.

3.3 전산유체역학(CFD)의 응용에 관하여

최근의 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics)의 진보는 눈부시고, 유체기계의 설계나 개

발을 지원하는 유효한 틀로서 각 방면에 이용되게 되었다. CFD의 최대의 장점은 실물의 유동조건에 근거하여 컴퓨터상에서 흐름을 재현하고 해석이 가능한 것이며, 위에서 언급한 것처럼 모형실험의 상사법칙과 관련된 기본적인 문제는 완전히 해결된다. 이 때문에 펌프 흡입수조에 있어서 보텍스 발생의 유무의 판정이나 건전성의 평가에 CFD의 활용이 크게 기대되며, 이미 여러 종류의 수치계산법에 의한 해석결과나 수치계산 결과와의 비교를 목적으로 한 면밀한 실험결과가 보고되었다. 자유표면의 변형을 동반하는 비정상 보텍스의 흐름을 정확하게 표현하는 것은 현재는 쉽지 않지만 모형시험에 의한 보텍스 발생의 평가를 지원하는 객관적인 데이터의 수집이라는 점에 CFD에 의한 수치 시뮬레이션은 매우 유용하며, 벤치마크 테스트를 통해서 각종 계산법의 특징을 명확하게 하는 조사연구는 획기적이며, 그 의미 또한 매우 크다.

4. 관련된 국외의 기준에 관하여

상기와 같은 펌프 흡입수조의 모형시험에 관한 연구나 CFD의 도입에 관해서는 펌프장의 설계나 계획에 깊이 관련되어 있으므로 국내뿐만 아니라 구미를 중심으로 국외에서도 표준화를 위한 조사연구가 진행되고 있다.

이러한 동향을 파악하기 위해 우선 미국이나 구미의 기준에 관하여 조사할 필요성이 있으며, 구체적으로는 미국 토목학회 기준, 미국기준(ANSI/HI 9.8-1988) 및 구주 기준위원회보고(CEN Rep, CR13930)에 대한 정보수집이 가능하게 된다.

펌프흡입수조의 모형시험법을 규정하는 기준으로서, 국제적으로 봐도 지금까지의 일본기계학회 기준(JSME S 004-1984)이 창시자적인 존재였다고 해도 과언

은 아니다. 한편, ISO를 중심으로 한 동 분야의 국제화의 움직임도 시작하였으므로 장래에 일본의 기준이 외국에 뒤지지 않고 국제화에 적응하도록 타 기준과의 정합성을 고려한 기술축적과 국외의 동향조사를 계속적으로 추진할 필요가 있다.

5. 맺음말

약 20년 전의 일본기계학회의 JSME S 004-1984의 제정에 있어서는, 일본기계학회 표준화부회 제3 표준위원회에, 대학이나 연구기관의 연구자, 펌프메이커 및 사용자 등의 기술자에 의한 「흡입수조의 모형시험법 검토분과회」가 설치되고, Toyokura교수(현재 요코하마국립대학 명예교수)의 주도하에 1년 만에 걸쳐서 신중히 심의한 후 기준안이 작성되었다.

이 때 터보기계협회에 설치된 기준개정위원회에 있어서도, 중립적인 관점에서 기준의 수정이 기대되고 있으며, 일본기계학회 분과회 분들, 대학 4명, 관청 4명, 전력관계 3명, 펌프메이커 8명의 폭 넓은 분야로 위원이 구성되고, 터보기계협회 기준으로서의 모형시험법 기준의 재생과 국제화를 목표로 신중하게 심의가 행해지고 있다.

앞으로 기준안을 정리하는 데 있어서, 회원 여러분께서 특히 흡입수조 모형시험에 관련한 해외의 기술동향에 관한 정보를 주시면 감사하겠습니다.

6. 감사의 글

ISO를 위시하여 구미의 펌프 흡입수조 모형시험 기준에 관한 최근의 동향에 대해 (주)전업사 기계제작소의 Uranishi씨로부터 유력한 정보를 제공받았으며 이에 감사드립니다.