소형 수로용 제진기 개발

- Development of Screen for small canal -

정광근*, 이광야, 김해도, 이종남

Chung, Kwang Kun*·Lee, Kwang Ya·Kim, Hea Do·Lee, Jong Nam

Abstract

It is design and manufacture which the rake operated in and out of water. Also irrigation test result of several times, the flux inside the waterway collects 0.15m/s to case below the dirt which is accumulated in the rake 30kg, difficulty was to examine closely the thing, it followed hereupon and the grade in the agriculture waterway flux inside the cursor waterway was quick, or, with water level in dirt removal it established in the irrigation facility downstream it will be able to increase a flux, very the possibility of getting an efficient power it is it knew.

1. 연구배경

최근 전세계적으로 태풍과 기상이변에 따른 집중호우와 게릴라성 폭우로 인하여 많은 피해를 입고 있다. 특히 우리나라에서도 지난 2002년 7월과 9월에 발생한 태풍 라마순과 루사에 의한 피해는 인명 270명, 재산피해 6조1천억원을 넘어섰다. 이러한 원인의 하나는 전지구적인 온난화현상과 더불어 엘리뇨현상과 같은 온수해류의 이동경로가 바뀌는 것이 커다란 원인 중의 하나이지만, 무엇보다도 집중강우나 홍수가 왔을 때, 물을 가두어 주는 역할을 하는 댐, 저수지, 도시의 저수공간, 하천의 보 등이 제 기능을 하지 못하거나 효율적인 배치 또는 운영이 부족한 실정에 기인하는 것도 무시할 수 없다. 특히 농촌지역에서 집중강우에 의한 피해는 저수지의 저수용량 초과에 따른 월류 위험성, 저지대에서의 배수곤란으로 인한 침수피해, 하천이나 농업용 수로로 유입되는 물에 의한 수리시설물 파손등을 들 수 있으며, 이러한 피해는 우리 국민의 식량을 책임지고 있는 농업생산에 커다란 위험이 되고 있다. 더 나아가서 이러한 수리시설물에 있어서 문제가 되는 것은, 농촌지역 또는 혼주화지역으로부터 배출되는 오물이 생활환경에 심각한 영향을 미치고 있다는 사실이며, 예전의 농촌지역 오물에 비해서 다양한 크기와 모양을 하고 있는 도시형 오물이 농촌에서도 많이 배출되고 있다. 이러한 오물이 사진 1에서 보는 바와 같이 평시에는 둑이나 도로에 산재되어

표 1. 2002년도 풍수해 현황

하도구간	피해지역 (우심시군구)	재산피해 (억원)	인명피해 (명)	농경지유실 (ha)	주택파손 (동)
계		61,038	270	19,890	8,811
7월5일～6일 태풍 라마손	6개 시도 14개 시군구	378	1	13	13
8월4일～11일 호 우	10개 시도 101개 시군구	9181	23	2,128	1,164
8월30일～9월1일	13개 시도 119개 시군구	51,479	246	17,749	7,634

있다가 비가 오면 일시에 하천이나 수로로 유입되어 하류지역으로 이동하여, 자연배수가 되지 않는 지역에서 배수장 가동시, 제진기 작동을 곤란하게 만드는 원인이 된다. 이러한 현상은 도시나 농촌 모두가 갖고 있는 특징이며, 이러한 원인을 제거하기 위해 배수장 개선이라든지 배수개선사업을 시행하여 침수 또는 시설물 파손 방지를 위해 노력하고 있지만 표 1에서 나타낸 바와 같이 일거에 많은 호우가 내리면 인명손상 및 농경지 유실을 비롯한 피해로 나타나고 있다.

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)

(a) 잠관 앞에 유입된 오물

(b) 분수공 앞에 유입된 오물

사진 1. 수로 내 오물이 유입된 모습

이에 따라 상기와 같은 피해를 방지하기 위해서라도 도시와 농촌 구별 없이 배수를 위한 배수장과 배수장 기능을 제대로 발휘시키기 위한 제진기의 설치는 반드시 필요하다. 또한 모든 오물은 관행상 배수장에서 처리하는 방식을 취하고 있으나, 이는 일시에 유입되는 오물에 대해서는 취약한 방법이기 때문에, 배수장 유입 전에 오물을 제거하는 방법도 이제는 필요하다고 판단되며 현재의 농촌의 사정상 관리 인력의 부족으로 무동력으로 오물을 제거하는 방법이 필요하며 본 연구에서는 무동력으로 오물을 제거하는 방법에 대해 제안하고자 한다.

2. 국내 제진기 실태 조사

국내 제진기 개발 실태를 파악하기 위하여 농업기반공사의 자료 및 현장조사를 하였다. 농업기반공사의 제진기는 주로 배수장을 중심으로 설치를 하였으며, 이에 대한 조사결과는 다음과 같다.

배수장 지역 오물 발생 특징으로서 농촌지역은 도시화·산업화로 인하여 오물 배출량이 증가추세에 있으며, 또한 주민의식의 결여로 배출된 오물을 배수로에 버리는 경향이 많다. 특히 오물은 상류에 공장지대, 비닐하우스 및 농가가 있는 경우에는 많은 양이 발생하며 그 종류도 지역적 특색에 따라서 짚, 비닐, 스치로플, 건축폐자재, 냉장고, 농산물 오물등으로 다양하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 지방자치단체에서는 마을이나 공장지역의 오물을 분리수거 및 오물배출일을 지정하여 수거에 힘쓰고 있으나, 농경지 지역에 있는 오물은 관리 인력의 고령화, 인력부족 및 도로사정 등으로 수거가 부진한 실정이다. 따라서 농경지에 면하고 있는 배수로의 경우에는 오물이 평상시에는 수로 내에 산재해 있다가 홍수 초기에 한꺼번에 배수장으로 오물이 유입되어 작동에 불편을 겪는 경우가 종종 발생하고 있는 실정이다.

배수장 제진기 설치현황에 대해서는 농업기반공사가 관리하고 있는 배수장을 기준으로 하여 살펴보면 2003년도 말을 기준으로 준공되어 있는 배수장은 649개소이며, 그 중 207개소(32%)에 제진기가 설치되어 있다. 또한 현재 공사중인 배수장은 104개소이며, 그 중 74개소(71%)에 제진기를 설치할 계획으로 있다. 현재까지 준공된 배수장의 제진기 설치 수량은 적은 실정이나, 최근에는 많이 설치하는 경향에 있다.

표 2. 배수장 제진기 설치 현황

(단위 : 개소, ( ) : %)

구 분	계	제진기		
		계	유압식	로타리식
계	753	281(37)	173(23)	108(14)
준 공[1)]	649	207(32)	123(19)	84(13)
공 사 중[2)]	104	74(71)	50(48)	24(23)

※ 자료 : 농업기반공사 1) 기전사업처, 2) 기반조성사업처

또한 2001년도 말부터는 재해예방차원에서 연차적으로 제진기 설치를 의무화하고 있다. 그 내용은 농림부 편찬 농업생산기반정비사업 계획설계기준(배수편)에서 배수장에서의 배제량이 10㎥/s 이상인 경우는 제진기 설치를 의무화하고 있으며, 배제량이 5㎥/s ~10㎥/s 상류지역의 여건에 따

라 제진기를 설치하고 배제량이 5㎥/s 미만인 경우에는 수동식(고정식 바) 스크린을 설치하는 것으로 하였다. 그리고 농업기반공사 기전사업처에서는 중소기업이 개발한 제진기 제품과 스크린을 표준화하여 지사까지 보급하는 노력을 하고 있다. 그러나 현재까지 배수장 전면에서 오물을 처리하는 수준까지는 가지 않고 있으며 특히 소형수로용 제진기의 보급은 아직까지 극히 미약한 실정이다.

3. 소형 수로용 제진기

3.1 작동원리

본 연구에서는 평상시에 수로나 하천의 오물을 상시 제거함으로서 홍수나 집중강우시 오물의 일시유입을 방지하며, 인력 운용이 어려운 지역과 전기인입이 어려운 지역에서의 오물제거를 위해, 수로나 하천의 수압을 이용하여 오물을 제거하는 장치를 개발하였다.

무동력 자동 제진기는 일반제진기와 마찬가지 구조로서, 본체 구성은 오물의 하류유출을 방지하는 주스크린과 수로나 하천의 바닥으로부터의 오물유출을 방지하는 보조스크린, 오물을 걷어 올려서 운반대까지 옮겨주는 레이크(Rake), 레이크로의 동력전달을 하는 동력전달용 체인(Chain), 상기의 각종 구조를 하나의 몸체로 구성해주는 플레임등으로 구성되어 있으며, 동력을 발생시키는 장치로서는 동력발생용 수차를 작동시키기 위하여 수차상류에 수압을 형성시켜 주는 전도게이트, 수로나 하천의 수압에 의하여 회전하면서 동력을 발생시키는 수차, 이 수차에서 발생된 동력의 힘을 증폭시켜 제진기 본체로 전달시켜 주는 감속기(Reducer)등으로 이루어져 있다.

우선, 무동력 자동 제진기가 작동하는 원리는 그림 1에서 보는 바와 같이 4가지의 작동메커니즘으로 분류할 수 있다. 제일 첫 번째는 제진기가 작동할 수 있는 동력을 발생시키는 동력발생부, 두 번째는 발생된 동력을 제진기 본체에서 오물제거작업이 가능하도록 전달시켜주는 동력전달부, 세 번째는 전달되어진 동력을 이용하여 주스크린에 걸린 오물을 제거하는 오물제거부, 네 번째로 제거된 오물을 제진기 외부로 배출하는 오물운반대로 되어 있다. 각각의 메커니즘의 설명은 아래에 기술한다.

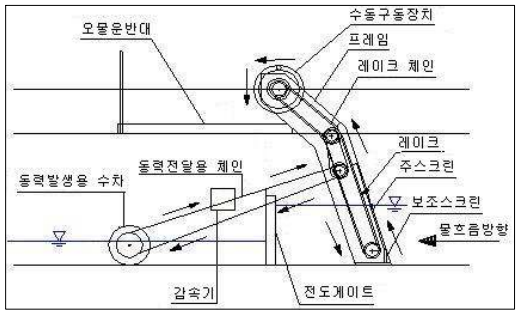


그림 1. 무동력 자동 제진기 작동원리도

가. 동력발생(전도게이트→동력발생용 수차)

1) 수량이 풍부한 경우(동력발생용 수차)

동력발생용 수차란 수력의 힘으로서 벼를 찧던 물레방아와 같은 것으로서, 수로나 하천에서 물의 힘으로 작동하는 것이다. 작동원리는 상류로부터 유입되는 유량의 유속에 의해 수차에 부착되어 있는 회전날개에 힘이 가해지면 수차가 회전되고, 수차가 회전함에 따라 원심력에 의한 플라이휠(Fly Wheel) 효과가 발생하여 수차의 움직임이 더 빨라지며, 이러한 회전운동에 의해 수차에서 제진기 작동 동력이 발생하여 이 발생된 동력을 제진기 본체에 전달한다.

본 작동메커니즘은 수로나 하천에 유량이 존재하는 한 상시 작동할 수 있는 장점이 있으나, 항상 같은 양의 동력발생은 불가능하며, 유량에 의존하는 종속적인 동력인 점이 단점으로 작용한다.

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)

2) 수량이 부족할 경우(전도게이트→동력발생용 수차)

보통 폭1.0m×높이1.0m의 구조물에 설치하는 경우의 제진기 작동한계유속은 0.15m/s라는 실험결과에 의해서 고안된 메커니즘으로서 수로나 하천에 유량이 없는 경우 전도게이트에 의해 인위적으로 유량을 형성시키고 게이트가 물막이 한계점에 다다르면 전도되어 일시에 유량을 수차로 보내며, 이 유량의 유속에 의해 수차의 회전날개를 작동시켜 동력을 발생시킨다.

나. 동력전달(동력전달용 체인→감속기)

전도게이트와 수차의 작동에 의해 발생된 동력을 제진기 본체에 전달하여 오물을 제거할 수 있도록 하는 중간단계의 역할을 하며, 수차에 연결된 스테인레스 체인에 의해 발생된 동력을 감속기로 전달하여 발생동력을 증폭시켜 감속기와 제진기 본체에 연결된 스테인레스 체인에 의하여 제진기의 구동축을 움직이게 하는 역할을 한다.

다. 오물제거작업(동력전달용 체인→레이크 체인→레이크)

동력전달용 체인에 의해 움직여지는 구동축으로부터 레이크 체인이 움직이고, 이에 따라 레이크가 움직인다. 레이크는 유량이 주스크린을 기준으로 상류에서 하류로 움직일 때 유입된 오물을 갈퀴와 같이 생긴 4조의 레이크(Rake)가 걷어 올려서 스크린을 타고 제진기 본체의 최상부에 도달하면 오물운반대로 제거되어진 오물을 떨어트리게 된다. 오물운반대에 의해 외부로 배출된다.

3.2 수문부하(=수압) 산정법

다음은 동력 발생용 전도게이트에 걸리는 힘(수압)을 계산하는 방법으로서 수문이 중력방향인 수직으로 서 있는 경우를 우선 상정하여 계산을 하면, 우선 수압이 전도게이트에 걸리는 형태를 두 가지로 나눌 수 있다. 한 가지는 수문 상부의 수문비 부분에 걸리는 수압으로서 게이트의 전도에 관여하며, 또 하나는 부채꼴 원형단면에 걸리는 수압으로서 이는 역수압 즉 게이트의 복원력에 관계되는 수압이다.

이 수압은 궁극적으로 모두 수문비나 부채꼴 원형단면의 무게중심에 걸리는 것으로서 제진기의 운영을 위한 동력원의 발생 역할을 한다. 하부의 부채꼴 원형단면에 작용하는 역수압은

$$P_{W2} = \frac{\pi}{4} d^2 \omega \frac{160^\circ}{360^\circ} \quad (1)$$

역수압 토오크는 식(2)와 같다.

$$T_{W2} = P_{W2} X \quad (2)$$

상기와 같은 식으로 오뚜기형 전도게이트의 구조계산을 하여 설계·제작된 게이트의 모습이 사진 2에 나타내었다.

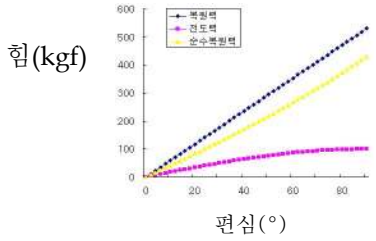
(a) 게이트 전면 (b) 게이트 후면 (c) 게이트가 기울어진 모습

사진 2. 오뚜기형 전도게이트 전체 모습

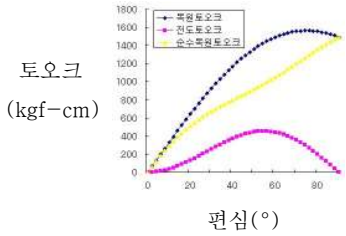
3.3 부하 및 토오크 산정법에 의한 검증

다음은 상기의 복원력과 전도력에 의한 계산식을 사용하여 계산한 내용이다. 이것은 농어촌연구원 물관리자동화(TM/TC)시험포장의 관개용수로를 대상으로 하여 전도게이트를 설계한 것으로

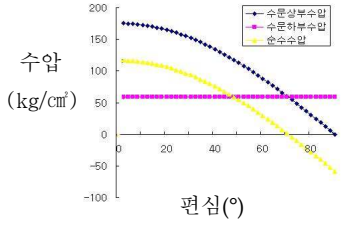
서 전도게이트에 필요한 사양은 다음과 같다. 수로폭은 0.8m, 수로높이는 0.4m이며, 전도게이트는 수문비의 높이가 0.225m, 부채꼴 원형단면 직경은 0.15m이고 전도되는 수심은 0.24m이다. 이 계산에 의한 결과에서는 편심에 대한 각종 계산치가 제시되어 있으며, 현재까지 본 시험포장용 전도게이트 구조계산법에 한정되어 있다. 우선 전도게이트의 받침대 기울기(=편심)에 대하여, 일정한 수압 하에 게이트가 넘어지는 전도력은 대단히 낮은 기울기로 발생을 하며, 이에 대한 반발력으로서 존재하는 복원력은 거의 비례적으로 커진다. 이러한 현상은 바꾸어서 말하면 전도게이트가 수압을 많이 받아서 기울기가 심해지면 질수록 게이트가 올라오려는 복원력은 커지게 되며 완전히 게이트가 기울어져도(편심각도 : 90°) 게이트의 복원력이 한계에 다다르지는 않는다는 결론을 얻을 수가 있다. 이러한 현상은 수로 내에 많은 유량에 의해 게이트의 기능(=유량을 모아서 수압을 형성하여 하류로 송출하고 다시 수압을 형성시키는 기능)이 자연적으로 회복이 된다는 것을 의미한다. 이에 대하여 순수복원력은 총복원력보다는 일정한 크기로 작지만 이러한 현상은 스프링현상처럼 일정한 크기의 압력에 대한 반발력이 더해져서 복원력으로 작용한다는 것을 의미한다. 또한 일정한 길이에 대한 힘을 나타내는 토오크를 보면 복원력이 무작정 크다고 해서 이를 나타내는 토오크가 커지는 것은 아니다. 그래프 2를 보면 편심이 54°근처에 오면 전도력에 대한 토오크는 오히려 작아지는 것을 알 수 있으며, 이에 따라서 복원력도 그리 크게 증가하지는 않는다. 다만, 순수복원력은 전도력에 대한 반발력이 존재하지 않기 때문에 부하로서 작용을 하지 않아 지속적으로 순수복원력에 대한 토오크는 증가를 한다. 편심별 수문의 각 부분에 대한 수압과 수압토오크를 나타낸 것으로서 수문 하부에 걸리는 수압이 항상 일정한데 비해서, 수문 상부에 걸리는 수압은 편심이 클수록 작아지는 것을 알 수 있으며, 편심이 45°~90°의 상태가 되면 수문에 대한 수압은 오히려 부압으로 작용하여 수문을 완전히 누르려는 현상보다는 오히려 일으켜 세우려는 측면으로 압력이 작용하는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 수문에 걸리는 수압토오크를 계산한 결과를 보면 그래프 3과 같은 결과를 얻을 수 있다.



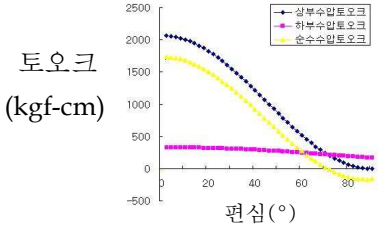
그래프 1. 복원, 전도, 순수복원력



그래프 2. 복원, 전도, 순수복원토오크



그래프 3. 수압, 역수압, 순수수압



그래프 4. 수압, 역수압, 순수수압토오크

이와 같이 수압이 형성되어 게이트의 전도 및 복원기능을 수행하는데 있어서 받침대와 수문비의 높이가 기능수행의 조건이 되며, 이러한 전도게이트는 무동력으로 수행을 함으로서 상시적으로 반복 작동되는 수문의 피로도 저감 및 동력사용에 대한 부담감을 낮출 수 있다.

3.4 제작 및 설치

시작품의 개발에 앞서 설치하는 대상 수로는 농어촌연구원 물관리자동화(TM/TC)시험포장의 용수로로 결정을 하였다.

그 이유는 두 가지로서 첫 번째는 3.2에 의한 구조설계계산에 의해 설계를 하였어도 완전히 검증된 제품이 아니며 실제 현장에 설치하여 작동이 불가능한 경우에는 수로 범람에 의한 논침수등의 피해를 발생시킬 수 있기 때문에, 수로의 수혜면적이 아주 적은 농어촌연구원 물관리자동화(TM/TC)시험포장의 용수로가 적정하다는 결론을 내렸고, 두 번째로는 상시 모니터링에 의해 고장부위를 검토하기 위함이었다. 농어촌연구원의 물관리자동화시험포장은 용수원의 역할을 하는 저수조, 중간수조, 침사지, 폭0.8m×높이0.6m×길이40m 크기의 용수로와 태양광 전동 제수문, 일반전동제수문, 무동력 자동 제수문 각 1조, 전동분수문 2조로 구성되어 있으며 각종 수리시설물의 성능시험을 하는 곳이다. 또한 제작도면을 용수로의 크기에 맞추어서 작성하였으며, 제작도면에 의해 상부구동축, 레이크, 레이크 핑거, 메인 스크린, 전위 스크린, 프레임, 오뚜기형 전도게이트, 웨이트형 전도게이트, 수차, 감속기, 수차 및 전도게이트 거치대, 제진기 거치수로등을 제작하여 설치하였다.

(a) 설치전면

(b) 설치후면

사진 3. 무동력 자동 제진기 설치공사 모습

4. 결론

제진기의 레이크를 작동시켜 오물을 수거하는 메커니즘 형성에 가장 중요한 동력발생원인 수차는 농업용수로의 물관리 특성을 이용하기 위하여 물 속에서도 회전이 가능하도록 설계·제작하였다. 또한 수차의 수리실험결과, 수로 내 유속이 0.15m/s 이하의 경우에는 레이크에 집적된 오물 30kg을 수거하기가 곤란하다는 것을 규명하였고, 이에 따라 농업용 수로중 구배가 커서 수로 내 유속이 빠르거나 낙차공과 같이 유속을 증가시킬 수 있는 수리시설물 하류에 설치를 하면 오물제거에 매우 효율적인 동력을 얻을 수 있다는 것을 알았다. 다음으로는 수차의 회전력을 증가시키기 위해 플라이 휠 효과를 높일 수 있는 방법을 제시하였다. 일반적으로 수차는 중심축을 강재파이프로 하고 날개부분은 가벼운 재질로 하지만 여기서는 오물을 수거하는 수차의 회전토오크를 높이기 위하여 수차외경에는 무거운 재질을 사용하고, 수차중심축은 가벼운 재질의 파이프를 사용하여 같은 유속 하에서도 더 큰 회전토오크를 얻을 수 있는 방법을 제시하고, 유속에 따른 동력대체방법을 고안하여 다양한 수로의 유속에 대응할 수 있는 제진기의 개발검토가 필요하다.