

## 누유방지형 감속기의 구조적 안전성 및 토크효율 향상에 관한 연구<sup>§</sup>

오 상 엽<sup>\*†</sup>

\* 경북대학교 자동차공학부

### A Study on Structural Safety and Advanced Efficiency for a Drywell Type Reducer

Sang Yeob Oh<sup>\*†</sup>

\* School of Automotive Engineering, Kyungpook Nat'l Univ.,

(Received April 12, 2011 ; Revised August 12, 2011 ; Accepted August 19, 2011)

**Key Words** : Torque Efficiency(토크효율), Geared Motor(기어드 모터), Drywell Type(누유방지형), Mixer(교반기), Reducer(감속기)

**초록**: 수처리 공정에는 반드시 교반기 전용 감속기가 사용된다. 본 연구에서는 사용 중의 누유를 방지하고 토크효율 향상을 위한 전용 누유방지형 감속기를 개발하였다. 설계 개선된 감속기 시제품을 개발하는데 있어서, CAD 및 CNC 고속가공기를 사용하여 실물모형(Mock up), 금형 등을 제작하였다. 특히 누유방지 구조인 감속기 시제품의 하부 하우징에 대한 구조적 안전성을 평가하고자 상용 유한요소 해석 코드인 ALGOR 을 이용하였다. 해석 결과, 최대 von Mises 응력이 항복응력보다 낮은 123 N/mm<sup>2</sup> 으로 안전하였으며, 고유진동수는 650~700 Hz 이었다. 그리고 토크효율은 95.87%로서 이전 연구결과 (88.45%) 에 비하여 약 8% 향상되었다. 소음 수준은 75 dB, 사용 중 누유 및 이상 소음은 발생하지 않았다. 따라서 향상된 감속기 시제품을 최적 설계하여 성공적으로 개발하였다.

**Abstract**: The reducer of the mixer is one of the main parts of the processor used for water and wastewater treatment. In this study, an advanced reducer with a drywell structure was developed in order to prevent oil leakage during operation in the field. During the development of the advanced reducer prototype, a mockup, a metal mold, and a cast were made using CAD and a CNC machine. The structural safety of the reducer prototype's lower housing (drywell structure) was checked using the ALGOR commercial FEM analysis code, which yielded a von Mises stress of about 123 N/mm<sup>2</sup>, which is below the yield stress of 250 N/mm<sup>2</sup>, and a natural frequency of about 650–700 Hz. In addition, the torque transmission efficiency for the advanced prototype was 95.87%, which is about 8% more than that found in a previous study, 88.45%, and the sound level was below 75 dB. Furthermore, no oil leakage or abnormal sound or vibration occurred. Therefore, an optimally designed advanced reducer prototype has been successfully developed.

### 1. 서론

물은 공기중의 산소와 더불어 인간이 살아가는데 반드시 필요한 소중한 자원이며, 인체의 약 70%가 물로 이루어져 있다. 그리고 식생활뿐만 아니라 일반 제조용 산업체에서도 필수 요소인 물은 소중한 자원이다. 그러나 인구의 증가에 따른 도시화 인구집중과 산업의 발달에 따른 수질오염

이 심각한 수준에 와 있는 실정이다. 또한 홍수, 가뭄 및 해빙과 같은 전 지구촌의 이상기후 등으로 깨끗한 물 문제는 세계적으로 심각해지고 있다.<sup>(1)</sup> 따라서 국내에서는 이러한 물과 연관된 환경오염 방지 및 환경 보존의 중요성을 인식하고, 오염물질의 사용 규제와 유해 폐기물 등의 배출기준을 강화하고, 관련 법규의 준수를 강요하고 있다. 특히 국내의 각 지역에는 독자적인 상·하수처리장을 운영하고 있으며, 여기에는 주로 수처리 전용 교방기를 사용하고 있다. 이 교방기에는 거의 대부분이 수입된 수처리용 감속기를 사용하고 있으며, 극히 일부는 국산의 일반 산업용 감속기를 사용하고 있는 실정이다.

§ 이 논문은 2011 년도 대한기계학회 CAE 및 응용역학부문 춘계학술대회(2011. 4. 14.-15., SETEC) 발표논문임

† Corresponding Author, syoh@knu.ac.kr

© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

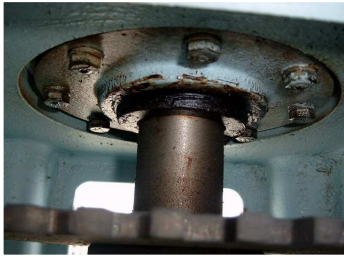


Fig. 1 An example of oil leakage on working

그러나 이들 감속기는 장시간 가혹한 외부 환경에서 사용 중에 Fig. 1 에 보인 바와 같이 내부 윤활유가 누유되어 수질 자체를 오염시킬 수 있는, 감속기 자체 구조적인 문제를 갖고 있다. 아울러 국내에서는 이러한 누유 방지를 위한 수처리 전용 감속기에 대한 상용 제품이 거의 없으며, 연구 또한 거의 없는 현실에 있다.<sup>(2)</sup>

그러나 누유방지를 위한 수처리용 감속기를 국내에서 독자 연구개발 및 상품화할 수 있다면, 수입대체 효과 및 해외 수출도 가능하며, 친환경기계 개발 측면에서도 부가효과가 크게 될 것이다.

따라서 본 저자는 선행연구로서 국내 관련 중소기업과 협력하여 누유방지형(Drywell type) 감속기의 시제품을 개발한 바 있다.<sup>(2)</sup> 이 시제품의 설계상 주요 특징은 다음과 같다. 누유방지형 3 단 감속(감속비 95.7)과 직결모터(Non-geared motor: 0.37 kW, 정격 1750 rpm)를 사용한다. 안전상 허용 출력축의 최대 길이는 3 m, 회전속도는 18 rpm 정도로 설계하였다.

그런데 실제 교반기를 설계하는데 있어서, 국내 상·하수처리장의 설계 요구조건은 각각 다르며 아울러 감속기의 요구조건도 다르게 된다. 한 예로서, 외국 전문 감속기 제작사인 미국의 Chemineer 사, Lightnin 사 및 PMC 사 등에서는 다양한 규격의 감속기 및 모터를 보유하고 있다. 수요처의 주문에 따라 감속기와 모터를 조합시켜 요구하는 구동 토크 및 출력축 회전속도를 충족시켜주고 있다. 그러나 국내 중소기업에서는 수요에 적합한 다양한 규격의 감속기(변속비, 적용모터)를 모두 구비할 수 없는 실정이며, 지금까지 전량 수입에 의존해 오고 있다. 특히 중소기업 입장에서는 감속기가 수요처의 요구조건을 만족시키면서 가격 경쟁력 측면에서 감속기를 조합하게 된다. 감속기(3 단)+직결모터(Motor) 또는 감속기(2 단)+기어드모터(Geared motor) 등으로 구성할 수 있다.

본 연구에서는 선행연구의 시제품에 연계해서, 감속기의 가격 경쟁력과 운용상의 효율성을 높이고자 누유방지형 감속기(2 단)+기어드모터, 출력

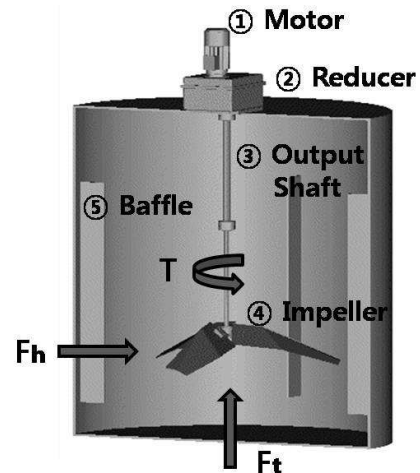


Fig. 2 Schematic of loads applying on agitator

축의 최대 길이를 5 m 까지 증대시킨 고효율 감속기의 시제품을 개발하는데 있으며, 선행 연구의 결과와 기본 성능의 토크전달 효율을 비교하였다.

## 2. 교반기

### 2.1 교반기의 구성

교반기는 Fig. 2 에 보인 바와 같이 보통 구동부(①모터+②감속기), ③출력축, ④임펠러, ⑤배플, 교반조 및 제어시스템 등으로 구성되어 있다.

구동부는 감속기와 모터로 구성되며, 모터는 회전을 발생시켜 감속기에 공급되어 목적에 맞는 출력 회전수로 변속이 된다. 출력축은 회전을 임펠러에 전달하게 된다. 임펠러는 허브와 날개로 이루어져 있으며 회전을 교반조의 내용물에 운동에너지를 전달하게 된다. 배플은 교반조 내에서 발생하는 소용돌이를 방지하는 장치이다.

### 2.2 교반기에 작용하는 부하

교반기에 가해지는 주된 부하는 일반적으로 Fig. 2 에 보인 바와 같이, 출력축의 토크(T), 임펠러에 작용하는 불평형력( $F_h$ )과 펌핑력( $F_t$ )을 고려할 수 있다.<sup>(3)</sup> 불평형력은 유체에 의한 수평으로 작용하는 부하로서 다음 식 (1)과 같이 주어진다.<sup>(4,5)</sup>

$$F_h = (29168 .5 \times P \times C_f) / (N \times D) \quad (1)$$

여기서, P 는 모터의 동력(hp), N 은 교반기의 회전수(rpm), D 는 회전 직경(m) 및  $C_f$  는 교반조의 상태계수를 각각 나타낸다.

펌핑력은 임펠러의 회전에 따른 유체가 순환하는 과정에서 상승하며 출력축에 압축방향으로 작

용되는 추력하중으로 다음 식 (2), (3)과 같이 주어진다.<sup>(4,5)</sup>

$$F_i = -Q_i \times \rho \times (Q_i / A) \quad (2)$$

$$Q_i = N_q \times N \times D^3 / 60 \quad (3)$$

여기서,  $\rho$ 는 유체 밀도,  $A$ 는 임펠러의 단면적,  $N_q$ 는 펌핑계수,  $Q_i(m^3/s)$ 는 유량을 각각 나타낸다. 토크( $T_{max}$ )는 다음 식 (4), (5)와 같이 주어진다.<sup>(4-6)</sup>

$$P = N_p \times N^3 \times D^5 \times \rho \quad (4)$$

$$T_{max} = 7023 .5 \times P / N \quad (5)$$

여기서,  $N_p$ 는 동력계수,  $P$ 는 임펠러의 동력(hp)을 각각 나타낸다.

외팔보로 가정한 불평형력에 의한 출력축의 최대 처짐량( $y_{max}$ )은 다음 식 (6)과 같이 주어진다.

$$y_{max} = F_h \times L^3 / (3EI) \quad (6)$$

여기서,  $L$ 은 출력축의 최대길이,  $E$ 는 탄성계수 및  $I$ 는 단면 2 차모멘트를 각각 나타낸다.

또한 감속기의 베어링에 작용하는 최대 굽힘모멘트는 다음 식 (7)과 같이 주어진다.

$$M_{max} = F_h \times L \quad (7)$$

### 3. 감속기의 설계

#### 3.1 감속기의 특징

감속기는 모터로부터 전달된 토크 및 회전속도를 기어쌍의 감속비에 따라 설정된 속도로 감속시켜 최종적으로 출력축에 전달한다. 여기에 부착된 임펠러를 구동시켜 상·하수처리 공정에서 교반을 효율적으로 발생시키는데 사용하는 기계장치이다.

본 연구의 감속기는 일반 산업용 감속기와는 달리 사용 중 누유를 방지할 수 있는 구조이다. 즉 출력축 지지 베어링이 하부 하우징 내부에 위치시킨 누유방지형(Drywell type) 구조가 특징이다.<sup>(2)</sup>

#### 3.2 감속기의 설계 조건

감속기의 성능, 안전성, 효율성, 제품단가 및 적용 범위 등을 향상시키기 위한 설계 보완 요구조건은 선행 시제품의 설계조건과 비교하여 Table 1에 각각 나타내었다.

**Table 1** Comparison of design conditions of a reducer

Main items	Previous study <sup>(2)</sup>	This study
Feature	Drywell type	Drywell type
Gearbox type	3-stage reduce (non-g geared motor)	2-stage reduce (geared motor)
Output shaft speed	17±2 rpm	17±2 rpm
Output torque	Max. 500 Nm	Max. 700 Nm
Motor power (rotation speed)	0.37~0.74 kW (1750 rpm)	0.37~1.5 kW (350 rpm)
Gear (precision grade)	Helical gear (AGMA Q10)	Helical gear (AGMA Q10)
Sound level (at 1 m apart from a source)	< 85 dB	< 85 dB
Output shaft length	Max. 3 m	Max. 5 m

본 연구에서 주된 설계 보완사항은 기어박스의 형식이 3 단 감속(Non-geared motor)에서 2 단 감속(Geared motor)으로 변경시키는데 있다. 여기에 적합한 기어드 모터를 선정하여 수요처의 다양한 출력축 회전수를 만족시켜 줄 수 있을 것이다. 또한 출력축의 허용 최대길이를 5 m 까지 사용할 수 있고, 감속기 내부 윤활유의 사용량을 최대한 줄이고자 하였다. 외관상 미적 감각을 최대한 향상시킴과 동시에 출력축 지지 베어링 접촉부의 부하에 대한 안전성을 고려하여 설계하였다.

Table 1의 설계조건에 따라 설계과정은 다음과 같다. 문헌조사 및 시장 분석, 기존 수입 감속기 제품의 현장 사용상의 문제점 분석, 2D/3D 설계도면 작성, 유한요소 해석, 실물모형 제작, 금형 제작, 시제품 제작 및 기본 성능시험 등의 일반적인 설계과정을 거쳤다.<sup>(7-9)</sup>

기본 성능시험에는 토크전달 효율, 소음수준 등을 측정하여 선행 연구 결과와 비교하였다.

#### 3.3 설계도 제작

Fig. 3에는 Drywell 구조 2 단 감속기의 2D 분해도와 조립도를 나타내었다. 감속기의 주요 구성품으로는 상·하부 하우징, 기어 및 기어축, 베어링, 플랜지 어댑터, 출력축 커플링 및 모터 어댑터 등으로 구성되어 있다. 특히 Fig. 4에는 Drywell 구조 감속기의 특징으로서 감속기 하부 하우징의 설계도를 나타내었다.

본 연구의 설계에서는 선행 연구의 설계와는 달리 허용 출력축 최대 길이를 3 m에서 5 m까지 확대하였다. 그리고 감속기의 출력축 지지 베어링에는 식 (7)의 굽힘 모멘트가 출력축의 길이에 비례하여 증가하게 된다.

따라서 안전성을 보완하기 위하여 선행 연구에

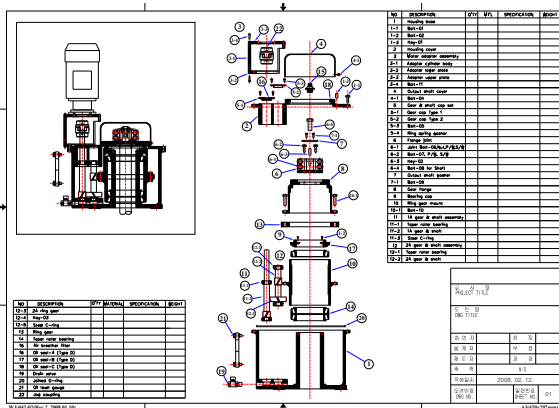


Fig. 3 2D assembly/disassembly drawing of a reducer

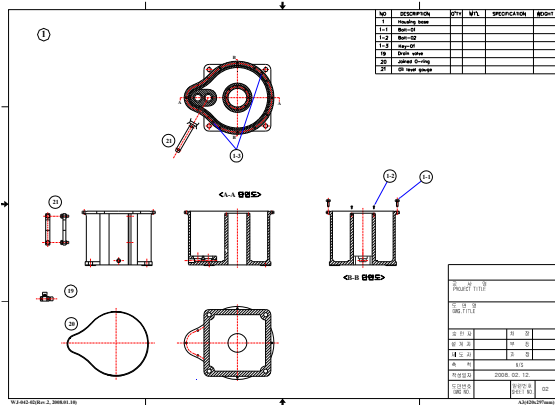


Fig. 4 2D housing base part drawing of a reducer

서는 상부에 1 개, 하부에 1 개의 테이퍼롤러 베어링을 사용하였다. 그러나 본 연구에서는 Fig. 3 과 같이 상부에 1 개, 하부에 2 개의 테이퍼롤러 베어링을 사용하였다. 즉, 상·하부 베어링 간격을 증가시켜 강도 및 강성을 향상시켰다.

사용 중 윤활유의 온도상승 허용 범위내에서 감속기에 사용되는 윤활유의 용량을 최대한 줄였다. 또한, 외관상 부드럽고 미적 감각을 향상시키기 위하여 Fig. 4 에 보인 바와 같이 하우징의 외형을 사각형에서 원형으로 최적 설계하였다.

3.4 기어 설계

기어는 일반적으로 많이 사용되는 인벌류우트치형 및 Lewis 의 기본설계 공식을 사용하여 기어 강도를 계산하여 최적 설계하였다.<sup>(7,10)</sup> 본 연구에서는 설계의 보안상 세부 치수는 명시하지 않았다.

기어의 효율, 물림률 및 소음 등을 고려하여 헬리컬 기어를 선정하였다. 모듈 1.25, 압력각 20°, 비틀림각 25° 및 기어드 모터를 고려한 이론상의 감속비는 19.48 로 설계하여, 최종 출력축의 회전속도가 약 17 rpm 으로 설계하였다.

Table 2 Material properties for FE analysis

Material	Steel(ANSI 4130)
Modulus of elasticity	206840 N/mm <sup>2</sup>
Shear modulus of elasticity	79565 N/mm <sup>2</sup>
Yield stress	250 N/mm <sup>2</sup>
Poisson's ratio	0.3
Element type	Auto-meshing (brick)
Element number	232988

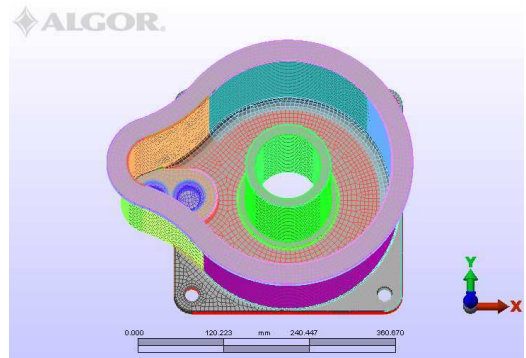


Fig. 5 3D FE modeling of a housing base

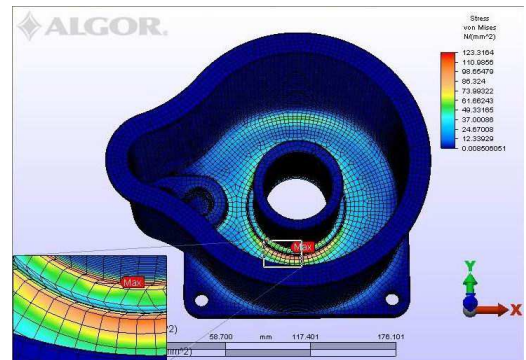


Fig. 6 FE analysis result for von Mises stress

3.5 유한요소 수치해석

감속기의 구조적 안전성을 사전에 평가하기 위하여 외부 부하의 영향을 가장 많이 받게 되는 하부 하우징에 대하여 유한요소 수치해석을 통한 응력해석, 고유진동수 및 모드해석을 수행하였다. 수치해석은 ALGOR 상용 코드를 사용하였다. Fig. 5 에 보인 바와 같이, 하우징을 3D 로 모델링한 후, Auto-meshing 기능을 이용하여 232988 개의 Solid (brick) 요소로 구성하였다. 수치해석에 사용된 재료 상수는 Table 2 에 나타내었다.

먼저 하부 하우징의 Drywell 구조인 베어링과의 접촉부에 Fig. 2 에 나타낸 불평형력(F<sub>b</sub>)에 의한 식 (7)과 같은 최대 굽힘 모멘트가 작용하게 된다. 따라서 수요처의 사용 조건 및 안전을 등을 고려하



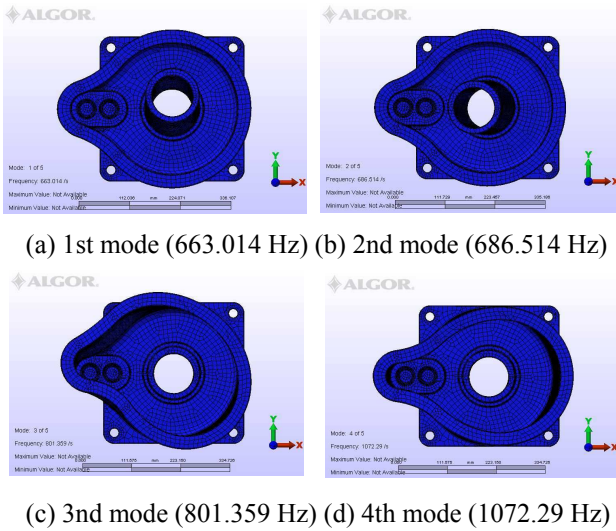


Fig. 7 Natural frequency and mode analysis

여 외부 부하로서 베어링 하중으로 가정하여 응력 변화 상태를 수치해석 하였다.

Fig. 6 에는 정적 선형 응력해석 결과로서 von Mises 응력 분포를 나타내었다. 확대 부위에 보인 바와 같이 최대 응력은 123 N/mm<sup>2</sup>로서 항복 응력 (250 N/mm<sup>2</sup>)과 비교하여 구조적으로 안전함을 확인하였다. 그리고 하부 하우징의 고유진동수 및 모드해석을 수행하였다.

Fig. 7 에는 진동수에 따른 진동 모드의 해석 결과이다. (a)는 1 차 모드(663 Hz), (b)는 2 차 모드 (686.5 Hz), (c)는 3 차 모드(801 Hz) 및 (d)는 4 차 모드(1072 Hz)를 각각 나타내었다. 특히 Fig. 6 의 최대 응력이 작용하는 부위에 치명적인 영향을 줄 수 있는 진동 모드로서 Fig. 7(a)의 ±Y 방향 및 7(b)의 ±X 방향을 확인하였다. 이 때의 고유진동수가 약 650~700 Hz 임을 예측할 수 있었다.

#### 4. 감속기의 시제품 제작

##### 4.1 실물모형 제작

금형 및 시제품을 제작하기 전에 제작 비용 및 시간을 절약하기 위하여 고속 CNC 가공기를 이용하여 Fig. 8 에 보인 바와 같이 실물모형을 제작하여 설계도의 적합성 등을 평가하였다.

##### 4.2 금형 및 주물 제작

먼저 Fig. 9 와 같이 목형을 제작한 후, Fig. 10 과 같이 금형을 제작하였다. 이 금형으로 주조하여 감속기 주물품을 제작하였다. 그 중에 하부 하우징 주물품의 한 예를 Fig. 11 에 나타내었다.



Fig. 8 A mockup



Fig. 9 A wood mold



Fig. 10 A metal mold



Fig. 11 A housing base casting



Fig. 12 A CNC machined casting and gear assembly



Fig. 13 Machined gear units

#### 4.3 기어 가공

Fig. 11 의 주물품을 Fig. 12 와 같이 CNC 가공기로 2 차 기계가공을 하였다. 기타 기계 가공한 헬리컬 기어 및 어댑터 등의 구성품을 조립하였다.

기어는 SMCN 415 재료를 사용하였다. 특히 작동 시 소음 발생의 주요 원인으로 볼 수 있는 기어의 가공 정밀도를 AGMA Q10 (KSB 1405 2 급) 등급을 만족하도록 Fig. 13 과 같이 정밀 연마가공을 하였다.

Fig. 14 에는 기어시험기로 측정된 기어 표면의 윤곽을 나타내었다. 또한 기어의 강도를 향상시키기 위하여 고주파 열처리를 실시하였다.

#### 5. 시제품의 성능평가

감속기 시제품의 기본 성능시험을 수행하기 위

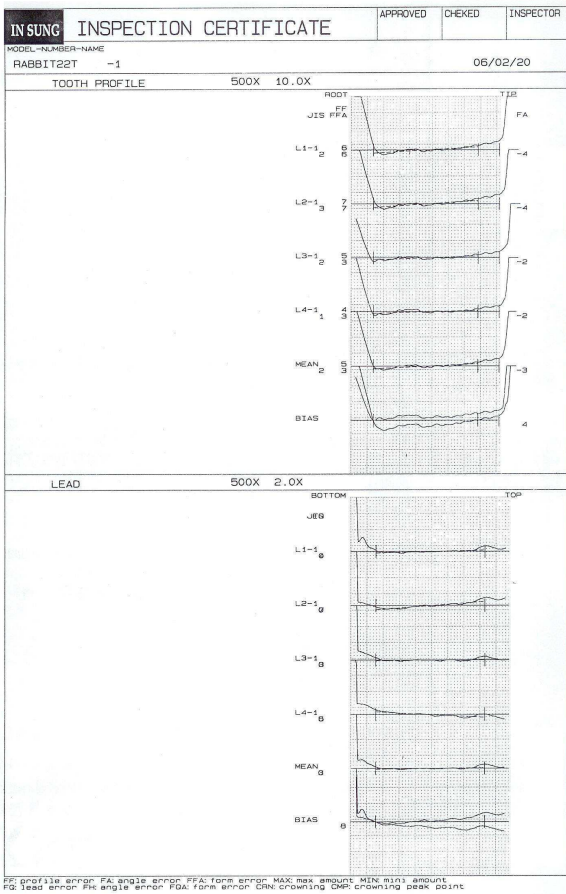


Fig. 14 An example of gear surface test result



Fig. 15 Prototypes with a geared motor



Fig. 16 A dynamometer equipment

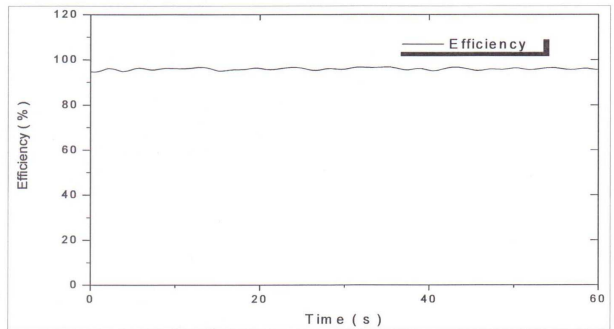
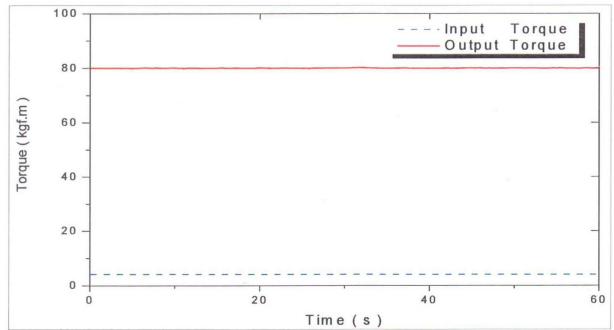
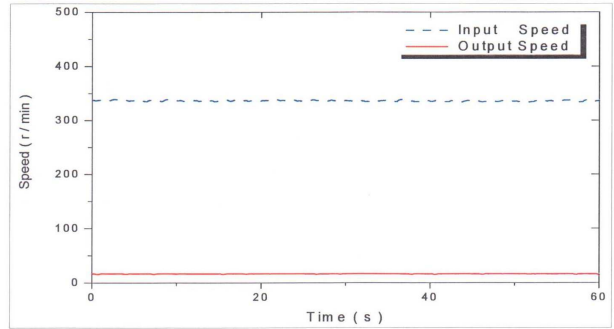


Fig. 17 Experimental results of torque efficiency

하여 Fig. 15 에 보인 바와 같이, 기어드 모터(동력 1.5 kW, 정격 회전수 1710 rpm, 기어비 1/5)를 감속기 시제품에 체결한 후, 윤활유(OMALA 220)를 규정 수준까지 부어 넣었다.<sup>(10)</sup>

조립 완료된 시제품의 구조적 안전성과 기본 성능을 평가하기 위하여 토크 전달 효율 시험, 소음 시험 등을 실시하였다.

아울러 선행 연구 결과와 비교하기 위하여 동일한 시험 절차에 따라 실시하였다.<sup>(2)</sup>

5.1 토크 효율 시험

토크 효율을 시험하기 위하여 Fig. 16 에 보인 바와 같은 한국기계연구원의 다이내노미터 시험장치를 사용하였다. 이 시험 장치는 감속기 시제품, 토크 미터, 제어장치 및 계측 소프트웨어 등으로 구성되어 있다.

토크 효율 시험은 SAE J1540 에 규정된 방법을 사용하였다.<sup>(11)</sup> 먼저, 시제품에 적합한 고정치구를 제작하여 다이내노미터에 수직으로 설치한다. 그리고 MIL-G-17859D 에 규정된 무부하 작동시험 방법에 따라 시험하였다.<sup>(12)</sup>

무부하 작동시험 방법은 다음과 같다. 무부하로 입력축의 회전 속도를 최저에서 최고속도까지 단계적으로 상승시키면서 작동시킨다. 최고속도의 40~60% 범위에서 작동시키면서 윤활유 온도가 30~60℃에 도달할 때까지 유지시킨 후, 단계적으로 감속하여 정지시킨다. 이 과정에서 이상 소음 및 진동이 발생하거나, 누유가 발생할 경우 시험을 중지하고 그 원인을 분석하도록 규정되어 있다.

이 무부하 작동시험 결과에서는 윤활유의 온도가 최고 25℃를 유지하였으며, 이상 소음 및 누유가 발생되지 않았다.

그리고 부하 시험의 방법은 다음과 같다. 입력축의 토크 미터, 속도계 및 온도센서 등의 교정 및 상태를 확인한다. 규정된 윤활유 수준 확인 및 윤활유의 온도를 40±10℃로 유지시키면서 토크 효율을 측정하도록 규정되어 있다.

이 부하 작동 시험 결과는 Fig. 17 에 보인 바와 같이, 주위 온도 25±3℃, 습도 50±30%, 입력 속도 340 rpm, 입력 토크 42.14 Nm 시험조건에서 토크 전달 효율이 95.87%(설계기준은 85% 이상)로 나타났다.<sup>(13)</sup> 시험 중에 윤활유의 온도가 25℃이하를 유지하였으며, 열화되지 않고 정상적으로 작동하였다.

이 결과는 선행 연구 결과(88.45%)에 비해 8% 정도의 토크 효율을 증가시켰다.

### 5.2 소음 시험

소음 시험은 AGMA 6010-E88 에 규정된 방법으로 한국기계연구원의 계측기(PULSE 3560C)를 사용하였다. 측정 위치는 마이크로폰 센서를 모터로부터 1 m 떨어진 지점에서 측정하였다.<sup>(14)</sup>

소음 측정 결과는 Fig. 18 에 보인 바와 같이, 입력 회전수 340 rpm, 입력 토크 42.14 Nm 무하시험 조건에서 약 75 dB(규정값은 80 dB 이하)을 얻었다. 이때, 누유 및 이상 소음은 발생하지 않았다.

### 5.3 출력 처짐량 평가

감속기는 Fig. 2 에 보인 바와 같이, 모터의 동력을 출력축을 통해 임펠러에 전달하게 된다. 또한 수요처의 설계 요구조건에 따라서 교반조의 크기, 임펠러의 크기, 감속비, 모터 동력 및 출력축 특성 등이 결정된다.

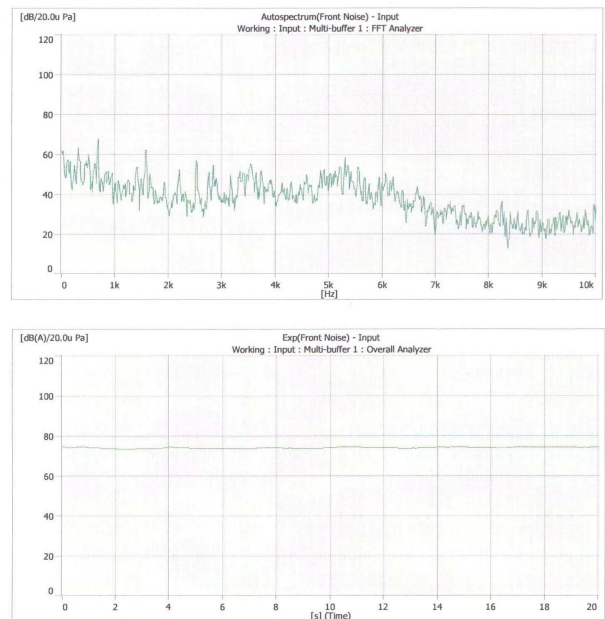


Fig. 18 Experimental results of sound levels

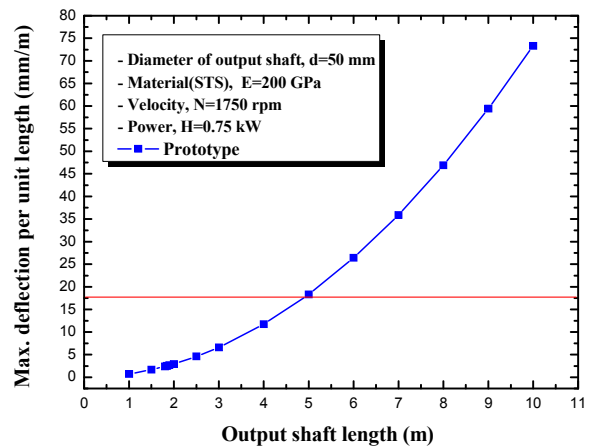


Fig. 19 Maximum deflections per unit length according to output shaft lengths

출력축의 특성에는 길이, 직경, 재질, 토크 및 회전수 등을 고려하여 적합한 강도 및 강성을 계산하여 설계하게 된다. 아울러 수요처에서는 단위 길이당 출력축의 최대 처짐량을 제한하고 있다. 따라서 감속기 시제품의 베어링에 부하 영향을 주는 출력축의 단위 길이당 처짐량을 계산하여 안전성을 평가하였다.

출력축의 직경은 50 mm, 재료는 스테인리스강, 모터 동력은 0.75 kW 및 회전 속도는 1750 rpm 인 조건에서 식 (1)과 식 (6)을 이용하여 출력축 길이에 따른 단위 길이당 출력축의 최대 처짐량을 Fig. 19 에 나타내었다.



이 결과로부터 단위 길이당 처짐량이 18 mm/m로 제한할 경우, 출력축의 길이는 최대 5 m 까지 안전하게 사용할 수 있을 것이다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 선행 연구 결과에 비해 경제성, 상품성 및 효율성 등을 고려한 친환경 수처리용 Drywell 구조 감속기를 설계 및 보완하여 향상된 시제품을 개발하였다. 특히 수요처의 요구에 유연하게 적용할 수 있는 고효율 가속기의 시제품을 개발하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 토크 전달 효율이 95.87%로서 선행 연구 결과(88.45%)에 비해 약 8% 향상 되었다.

(2) 외부 부하에 가장 취약한 Drywell 구조의 베어링 접촉부에 형성된 von Mises 수치해석 응력(123 N/mm<sup>2</sup>)이 항복 응력(250 N/mm<sup>2</sup>)보다 낮게 나타나 구조적으로 안전하였다. 또한 하부 하우징의 고유진동수는 약 650~700 Hz 범위에 있었다.

(3) 출력축의 최대 길이는 5 m 까지 안전하게 사용할 수 있다.

## 참고문헌

- (1) Korea Water Resources Company, 2010, "Clean water for a Healthy World," www.kwater.or.kr
- (2) Oh, S. Y., 2007, "Development of the Reducer with the Drywell Structure and the Motor RPM PID Control for a Water Treatment," *J. of Korean Soc. of Mechanical Technology*, Vol. 9, No. 2, pp. 31~37.
- (3) Lightnin Mixers Korea, 1986, "Mixer Mounting Design Loads for Fixed Mount, Closed Tank Applications," Lightnin Sales Data Book.
- (4) Amirtharajah, A., Clark, M. M. and Trussell, R. R., 1991, "Mixing in Coagulation and Flocculation," American Water Works Association Research Foundation.
- (5) Coble, R. A., Dickey, D. S., 1987, "Mixing Equipment Impeller Type - A Guide to Performance Evaluation," American Institute of Chemical Engineers Equipment Testing Procedures Committee.
- (6) Hicks, R. W. and Dickey, D. S., 1976, "Applications Analysis for Turbine Agitators," *Chemical Eng.*, pp. 72~76.
- (7) Hong, J. P., 2001, "Mechanical Design," Books-Hill Co., pp. 516~530.
- (8) John, A. S., 1977, "Introduction to Manufacturing Processes," McGraw-Hill, New York.
- (9) Robert, C. J. and Kurt, M. M., 2002, "Fundamentals of Machine Component Design, 3rd edition," WILEY, pp. 661~701.
- (10) Flender, 2000, "Technical Handbook, 2<sup>nd</sup> Edition," Flender Co., pp. 108~134.
- (11) SAE J1540, 2000, "Manual Transmission Efficiency and Parasitic Loss Measurement."
- (12) MIL-G-17859D, 1993, "Gear Assembly, Propulsion (Naval shipboard use)."
- (13) BISON, "Gear motor Efficiency," Bison Gear & Eng. Corp., 1-800-AT-BISON, p. 63.
- (14) AGMA 6010-E88, 2009, "Standard for Spur, Helical, Herringbone, and Bevel Enclosed Drivers."