

유체동 성능 데이터베이스를 활용한 토크 컨버터 개념 설계 지원 시스템 개발

Development of a Conceptual Design Assistance System for Torque Converters Using Hydrodynamic Performance Database

권강 · 김아리 · 박병건 · 최완 · 장재덕 · 주인식 · 김재정

K. Kwon, A. R. Kim, B. K. Park, W. Choi, J. D. Jang, I. S. Joo and J. J. Kim

(접수일 : 2011년 08월 02일, 수정일 : 2011년 11월 04일, 채택확정 : 2011년 11월 12일)

Key Words : Torque Converter(토크 컨버터), Torus(토러스), Database(데이터베이스), Hydrodynamic Performance(유동 성능), Conceptual Design(개념 설계)

Abstract : The fluid performance is one of the key design factors considered during the development of torque converters especially at conceptual design stages. Therefore the design environment that allows an easy access to legacy data of fluid performance could be critical to reduce the design life cycle as well as to increase the performance of the torque converter. In this paper we present a computer-based system that enables designers to utilize massive legacy data for their design of torque converters. For the implementation of the system we propose a standard format for the legacy data and build them into the database to be efficiently shared by designers in the company. Also we provide numerous analysis tools in the system that allow, for example, database management, data viewing and document generation for search, analysis and reporting. In the paper the implementation of the system is introduced in detail with its effective user interface.

1. 서 론

오늘날 자동차 설계 기술의 발전으로 차량의 개발 주기가 짧아짐에 따라 자동차의 핵심 부품인 토크 컨버터의 개발 주기의 단축에 대한 요구 또한 높아지고 있다. 따라서 토크 컨버터를 설계하기 위해 소모되는 시간을 줄이고자 기업에서는 많은 노력을 하고 있다. 설계 단계 중 개념 설계 단계에서 설계 목표를 명확히 설정하고 요구 조건을 충족시킬 수 있는 사양의 예측이 분명하다면, 이후 단계인 상세 설계 단계에서 반복 설계 수정으로 인한 경제적/시간적 소모량을 최소화할 수 있음이 많은 연구들과 사례들에서 증명되었다. 이러한 이유로 인해 토크 컨버터에서도 효율적인 개념 설계를 위해 기존의 제품을 참고하여 수정하는 것이 일반적이다. 즉, 기존에 설

계되어 있는 토크 컨버터의 데이터들을 검색하여 요구 조건을 만족하는 새로운 사양을 선정하는 것이다. 하지만 개발된 토크 컨버터 수의 증가에 따라 발생하는 데이터의 양도 함께 증가하고, 각 설계자가 개별적인 포맷으로 관련 데이터를 보유하고 있기 때문에 기존의 데이터를 효율적으로 검색하는 것은 용이하지 않은 실정이다. 더욱이 표준화되지 않은 데이터의 분산으로 설계 지식의 축적이 어려워지며, 상대적으로 경험이 부족한 설계자의 데이터 활용을 저하시키는 주요원인이 된다.

데이터베이스는 대량의 전자 데이터를 표준화하고 체계적으로 관리하는 데에 용이하여 최근 여러 연구들에서 이를 이용한 설계 방안이 제시되고 있다. 하지만 이 연구들은 주로 상세 설계 및 그 이후 단계에 데이터베이스 활용 기술을 적용하였다.

따라서 본 논문에서는 토크 컨버터의 효율적인 개념 설계를 위한 데이터베이스 활용 시스템을 제안한다. 이를 위해 우선적으로 분산되어 있는 기존의 유체동 성능 데이터들을 표준화하고 이를 데이터베이

김재정(교신저자) : 한양대학교 기계공학부
E-mail : pandakang@hanyang.ac.kr, Tel : 02-2220-0572
최완, 장재덕, 주인식 : 한국과워트레인(주)
권강, 김아리, 박병건 : 한양대학교 기계공학부 대학원

스 내에 계층적으로 축적하였다. 또한 축적된 데이터들의 효율적인 분석을 돕고 의사 결정을 지원하는 프로그램을 개발하여 적용 예제를 소개한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 데이터베이스와 관련된 연구를 소개하고, 3.1장에서는 토크 컨버터 개념 설계 단계에 대해 다룬다. 3.2장에서는 이를 기반으로 데이터베이스에 축적이 될 데이터들을 분류하고 테이블을 정의하여 데이터베이스 모듈을 설계한다. 4장에서는 구현과 시험 과정에 관하여 다룬 후, 5장의 결론으로 끝을 맺는다.

2. 관련 기술 및 연구

많은 연구에서 접근성이 뛰어나고 확장성이 좋은 데이터베이스 기반으로 설계 작업에 도움을 줄 수 있는 시스템이 제안되어 왔다. 이 제안에서는 상세 설계 및 제조 과정에 적용된 연구들이 주를 이룬다. 사출 제품 금형의 CIM(Computer Integrated Manufacturing) 시스템 구축을 위해서는 설계 및 제작 데이터를 관리하기 위한 데이터베이스가 효율적으로 구축되어야 한다¹⁾. 이상현²⁾ 등은 새로운 대상에 대한 설계를 신속히 수행하고, 설계 변경에 대해서도 그 결과가 바로 금형 설계에 적용 될 수 있는 3차원 금형 설계 시스템을 개발하기 위해서 설계에 관한 전문적인 노하우나 경험지식 관련 데이터베이스를 구축하였다. 또한 강무진³⁾ 등은 제품의 금형 설계를 하기 위해서 금형 설계자들의 설계 지식을 표준부품에 적용하여 표준 부품 데이터베이스를 사용하였다. 구축된 데이터베이스는 실제로 설계 시에 설계 표준 및 설계 지식에 의한 Parametric design 개념으로 설계가 진행될 수 있도록 지원하는 장점을 가진다.

상세 설계 과정에서 데이터베이스를 활용한 예로, 이강수⁴⁾의 CAD시스템에서의 체결류 설계에 관한 연구에 따르면 삼차원 CAD 시스템에서 체결류를 설계하기 위한 시스템에 대한 연구를 수행하였다. 이강수의 연구에서는 자동으로 설계하기에 적합한 체결류 형상을 정의하고 체결류 설계에 필요한 설계 인자와 형상치수를 규격에서 추출하여 데이터베이스를 구축하였다. 또한 기존의 CAD 데이터베이스와 관련된 연구는 주로 선박이나 건축 등 대규모의 협업이 필요한 분야에서 공동 작업과 정보 공유를 손쉽게 하기 위해 진행되었다⁵⁾. 조선분야 CAD 데이터베이스 김준환⁶⁾의 연구에 따르면 CAD데이터베이스의 구축은 CAD파일과, 파일 저장을 위한 운영체제의 데이터 관

리 구조를 논리적 구조에 따른 데이터 관리를 보장한다. 또한 선박에 장착되는 장비의 수가 증가함에 따라 증가하는 대량의 데이터를 데이터베이스로 구축하여 선박의 각종 이력 정보 및 정보를 검색한다⁷⁾.

앞서 언급한 내용과 같이 기존의 연구에서는 데이터베이스를 주로 상세 설계 및 금형 설계 단계에서 사용하였다. 기존의 연구들과 달리 본 연구는 초기의 개념설계 단계를 지원할 수 있도록 유체동 성능 데이터 활용 데이터베이스를 기반으로 한 설계 지원 시스템을 제안하고자 한다.

3. 토크 컨버터 개념 설계

3.1 토크 컨버터 개념 설계

토크 컨버터의 개념 설계 절차는 일반적으로 고객 요구 사항을 만족하는 (1) 토러스(torus)의 사이즈를 결정하는 단계와 (2) 결정된 토러스와 요구된 성능에 맞는 블레이드(blade)의 사양을 결정하는 단계로 구성된다. 고객의 요구 사항은 토크 컨버터의 성능을 정해주는 경우와 엔진 성능만을 제공하는 경우가 있다. 전자의 경우 속도비(Speed Ratio) 별 토크비(Torque Ratio), 토크 용량 계수(Torque Capacity Factor), 효율(Efficiency) 등과 같은 토크 컨버터의 성능이 주어지므로, 기존의 데이터를 검색하여 이에 적합한 토러스의 사이즈를 직접 결정한다. 이에 반해 후자의 경우는 제공된 엔진 성능에 맞도록 상기된 토크 컨버터의 성능을 결정해야 하는데 이 과정에서 또한 기존에 제조된 토크 컨버터와 엔진과의 적합성 평가 데이터를 검색하는 것이 필요하다. 토러스의 사이즈가 결정되면 요구된 토크 컨버터의 성능을 내는 각 블레이드(임펠러/터빈/리액터)의 사양을 결정한다. 본 장에서는 앞서 언급된 토크 컨버터 개념 설계의 두 단계를 자세히 설명하고 이에 필요한 데이터 및 기술을 설명한다.

3.1.1 토러스 사이즈 결정

Fig. 1과 Fig. 2는 토크 컨버터의 성능을 나타내는 토크 컨버터의 유체동 성능 선도이다. 토크 컨버터의 유체동 성능은 속도비(SR) 별 토크비(TR), 토크 용량 계수(CF), 효율(EFF)로 구분되어 고객은 유체동 성능을 만족하는 토크 컨버터를 설계자에게 요구한다. 고객은 요구된 토크 컨버터의 유체동 성능을 만족하는 토크 컨버터를 설계하기 위하여 기존의 데이터에서 요구 조건을 만족하는 토크 컨버터를 검색한다.

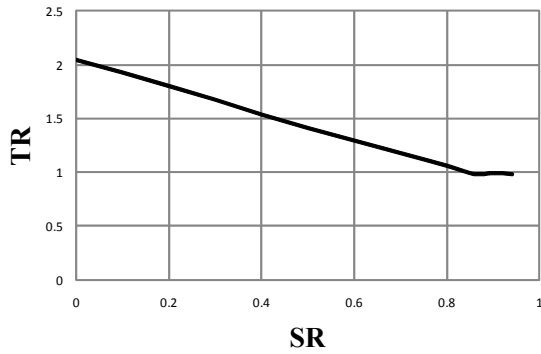


Fig. 1 Torque Ratio of Speed Ratio

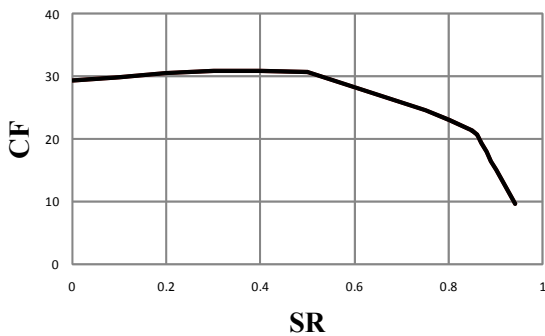


Fig. 2 Capacity Factor of Speed Ratio

Fig. 3은 엔진의 회전 속도에 따른 속도비 별 토크 컨버터의 성능 선도와 엔진의 성능 선도이다. 고객의 요구 사항으로 엔진의 성능만을 제공해 줄 경우 설계자는 기존의 데이터에서 고객이 요구한 엔진의 성능을 검색한다. 이 그래프를 통해 설계자는 속도비 별 토크 컨버터가 만족해야 하는 토크 컨버터의 성능을 목표로 하여 조건을 만족하는 토크 컨버터를 검색한다.

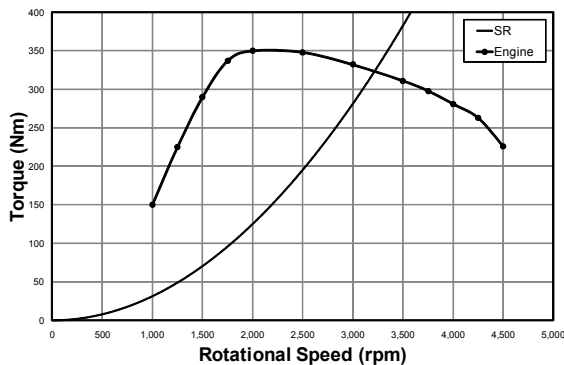


Fig. 3 Engine Performance Matching for Speed Ratio

토러스의 형상은 Fig. 4 과 같이 박형비(Flatness Ratio)와 편평비(Aspect Ratio)로 정의할 수 있다. 이때 박형비(FR)와 편평비(AR)는 다음의 식 (1)과 (2)

로 정의된다.

$$FR = \frac{b}{D_1} \quad (1)$$

$$AR = \frac{b}{h} \quad (2)$$

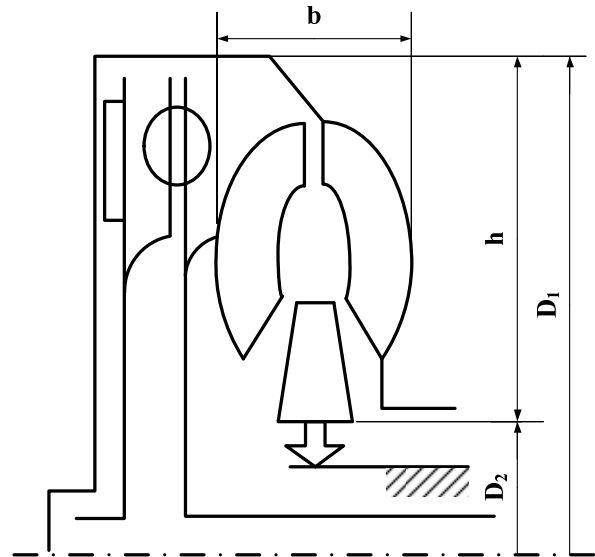


Fig. 4 Definitions of Flatness Ratio And Aspect Ratio

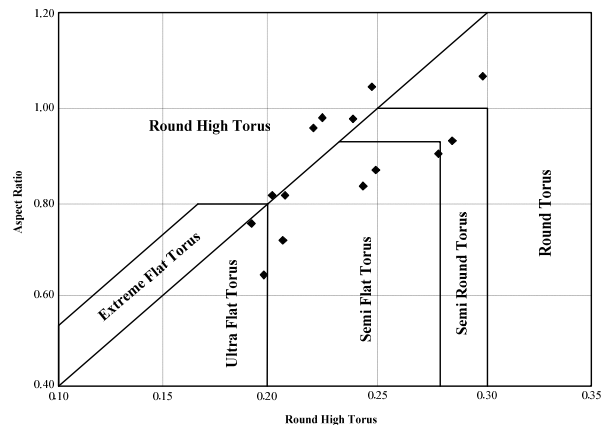


Fig. 5 Market Trend of Flatness Ratio as Function of Aspect Ratio

Fig. 5는 토러스 설계 경향을 나타내는 그래프이다. 이 자료는 박형비별 편평비를 나타낸 그래프로서 최근 생산된 토러스의 형상을 분석하는데 사용한다. 동일한 호칭경(Nominal Diameter)을 가지는 토크 컨버터에서 라운드 하이형(Round High) 토러스의 유체 성능은 준환형(Semi Round) 토러스를 가지는 토크 컨버터와 유사하다고 보고되고 있으며 최근 토러스는 탑재성을 향상시키면서 유동 손실이 적은 환형

이면서 토러스의 반경이 작은 라운드 하이형 토러스가 많이 적용되고 있다⁸⁾.

3.1.2 블레이드 사양 결정

토러스의 사이즈가 결정 되면 다음 수행 단계로 토러스 사이즈를 토대로 토크 컨버터 블레이드의 사양을 결정한다. 토크 컨버터는 엔진 동력에 의해 펌프 임펠러(Pump Impeller)가 회전을 하면서 작동 유체(Automatic Transmission Fluid)에 토크를 주면, 작동 유체가 받은 토크로 터빈 런너(Turbine Runner)를 회전시켜 동력 전달이 이루어진다. 터빈 런너를 회전시킨 작동 유체의 흐름은 임펠러 측으로 되돌아가 임펠러 회전을 방해하는 방향으로 흐른다. 이때 회전에 방해되는 유체의 흐름은 리액터(Reactor) 혹은 스테이터(Stator)에 의해 펌프 임펠러의 회전을 돕도록 작동 유체의 흐름 방향이 변경되어 펌프 임펠러의 뒤쪽으로부터 유체가 유입된다. 이러한 흐름의 결과로 토크의 증배가 이루어지게 되는 데 이때 3상의 블레이드는 지속적인 압력을 받게 된다.

토크 컨버터의 성능은 작동 유체의 흐름에 따라 토크의 증배가 얼마나 되는지에 따라 결정된다. 작동 유체의 흐름은 블레이드의 형상에 의해 변화된다. 특히 블레이드의 입력각과 출력각에 따라 작동 유체의 흐름에 많은 영향을 주게 된다. 토크 컨버터의 개념 설계 단계 중 블레이드 설계 단계에서는 토러스의 사이즈를 만족하는 블레이드의 형상을 토대로 블레이드의 사양을 결정한다.

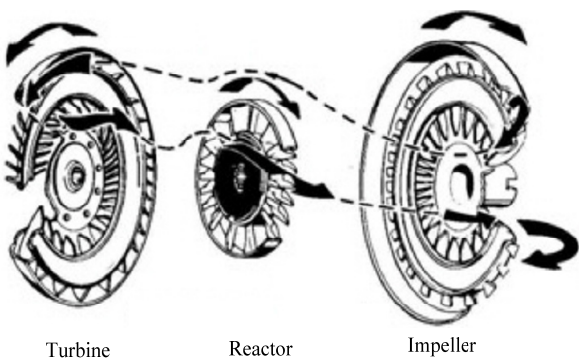


Fig. 5 Principal of Torque Converter

토크 컨버터의 개념 설계 단계에서는 토러스의 사이즈를 결정하고 블레이드의 사양을 결정하기 위하여 많은 양의 데이터를 검색하고 활용한다. 그러나 기존의 토크 컨버터 개념 설계 단계에서는 축적되어 있는 자료를 충분히 활용하지 못하는 문제가 있었다.

그러한 문제를 해결하기 위하여 3.2절에서는 기존의 데이터를 데이터베이스 서버에 축적시키고 이를 활용할 수 있는 데이터베이스 서버 설계에 대해 제시한다.

3.2 데이터베이스 서버 설계

3.2.1 데이터베이스 테이블 설계

본 논문에서 제안하는 유체동 성능 데이터베이스를 구축하기 위하여 개념 설계 단계에서 필요한 데이터를 분류하고 테이블을 설계한다. 토크 컨버터 개념 설계 단계에서 필요한 데이터는 성능 실험 결과 데이터와 토러스 및 블레이드의 형상 정보 데이터로 구분된다. 성능 실험 결과 데이터는 토러스, 펌프 임펠러, 터빈 런너, 리액터의 조합을 칭하는 Product로 구분하는 유체 성능 실험의 결과 데이터이다. 테이블은 Product Name, Test Number, Test Date 그리고 속도비(SR), 토크비(TR), 용량(CF), 효율(EFF) 등의 실험 데이터로 구성된다. 토러스 및 블레이드의 형상 정보 데이터는 개념 설계 단계에서 토러스의 사이즈를 결정하기 위해서 필요한 정보인 펌프 임펠러, 터빈 런너, 리액터의 2D외곽 형상 정보를 포함하고 있고 블레이드는 입력각과 출력각 정보가 중요하므로 3D 형상 정보를 모두 포함한다.

Fig. 6은 데이터베이스 테이블들 간의 관계를 다이어그램으로 정의해 준 E-R (Entity-Relationship) 다이어그램이다. Product 테이블은 토러스, 임펠러, 터빈, 리액터의 조합에 대한 정보를 가지고, Result 테이블에 있는 실험 결과 정보를 지니고 있는 테이블과 Product 테이블 사이에 Test 테이블이 서로 연관을 지어주고 있다. Torus 테이블과 blade 테이블은 형상을 표현하기 위한 좌표 값을 가진다. Torus 테이블은 토러스의 사이즈를 결정하는 블레이드의 외곽 형상 정보만을 가지고 있고 blade 테이블은 각 블레이드의 3D 형상 정보를 모두 가지고 있어 이를 따로 분류하였다.

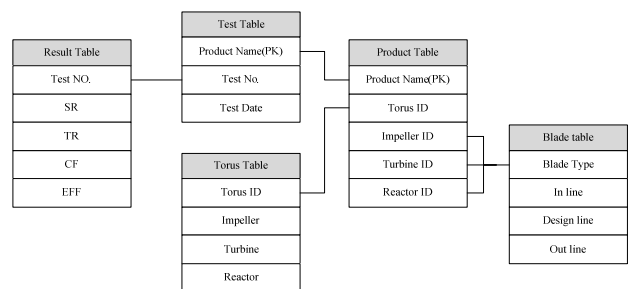


Fig. 6 E-R Diagram of Database

3.2.2 데이터베이스 설계

데이터베이스는 Fig. 7과 같이 서버와 데이터베이스 매니저, 클라이언트로 구성된다. 설계자가 원하는 토크 컨버터 데이터를 업로드 하고 싶을 경우 데이터베이스에 쿼리를 보내 데이터를 업로드 한다. 또한 데이터베이스의 중요한 기능 중 하나인 사용자 관리의 기능도 수행할 수 있도록 하였다. 업로드 된 데이터는 File Server에 저장된다. 데이터의 백업 기능을 위해 데이터베이스 이외에 File Server를 따로 설계하였다. 데이터베이스 클라이언트는 유체동 성능 해석 그래프나 기존의 토러스 및 블레이드 형상 등 설계자가 원하는 정보와 조건을 선택하였을 경우 해당되는 쿼리를 보내 조건을 만족하는 데이터를 수신하여 이를 분석한다.

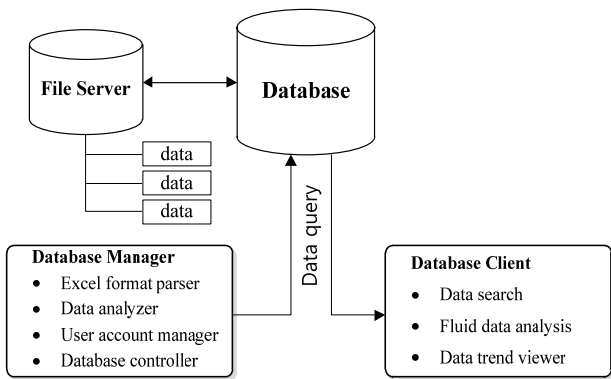


Fig. 7 Composition of Database Server

3.2.3 데이터베이스 저장 모듈 설계

Fig. 8은 데이터 저장 모듈의 흐름을 나타낸 것이다. 설계자가 우선 데이터베이스에 접속을 하고 접속이 완료되면 소켓을 초기화한다. 그 후 설계자가 원하는 데이터를 포함하고 있는 정해진 데이터 포맷을 불러와 확인 작업을 거친 후 데이터를 읽는다. 읽은 데이터는 데이터베이스에 설계되어 있는 테이블들로 분류되어 데이터베이스 내부의 각각의 테이블에 저장된다.

3.2.4 데이터베이스 검색 모듈 설계

Fig. 9는 데이터 검색 모듈의 흐름을 나타낸 것이다. 데이터베이스에 접속이 완료되면 검색 모듈을 선택한다. 검색 모듈은 해석 데이터 검색 모듈, Torus 형상 검색 모듈, blade 형상 검색 모듈로 구성된다. 각 모듈 별로 설계자가 원하는 데이터를 선택하고 그 테이블별 조건을 선택하면 쿼리문이 생성되어 데이터베이스에서 검색하고 출력한다.

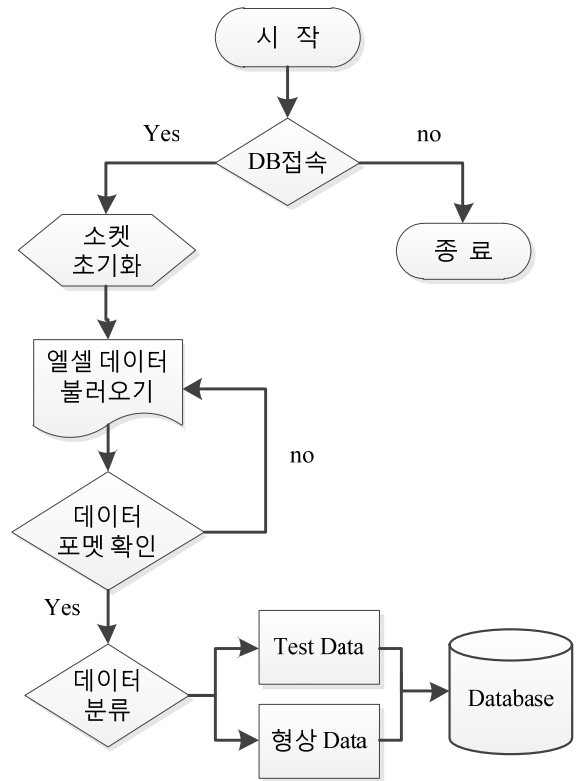


Fig. 8 Save Module Organization of Database

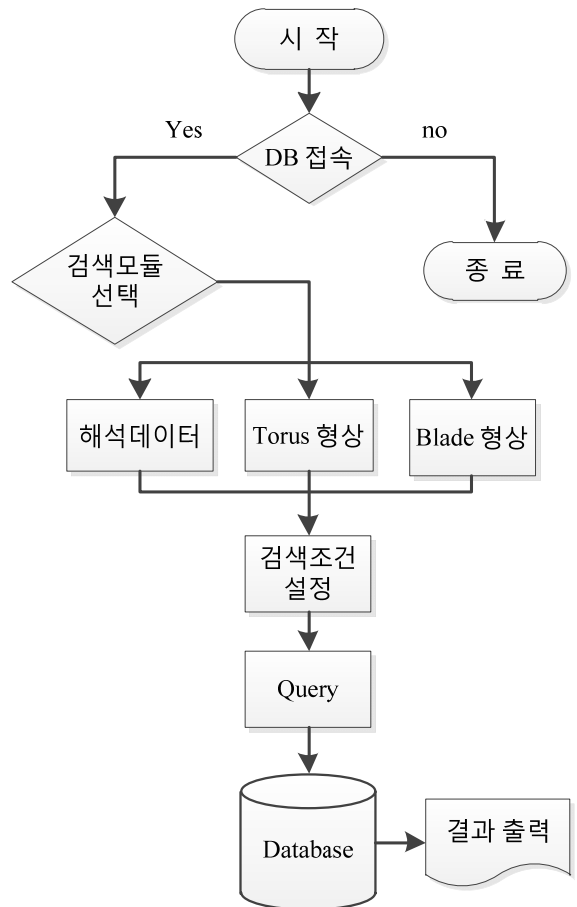


Fig. 9 Search Module Organization of Database

4. 데이터베이스 구현 및 시험

4.1 개발 환경

구현에 사용된 운영체제는 Windows XP 이며, 개발 도구와 언어는 Microsoft Visual Studio 2008의 C#을 이용하였다. DBMS(Database Management System)는 Microsoft SQL Server 2008을 사용하였다. 데이터 포맷은 Microsoft Office Excel 2010을 기본으로 한다. 또한 형상은 VTK .Net을 이용하여 표현하였다.

4.2 데이터 포맷 및 저장 모듈 구현

Fig. 10은 데이터베이스에 업로드가 될 데이터 포맷의 예이다. 이 테이블은 Test 데이터와 해석 데이터 및 Product의 조합에 대한 정보를 포함한다. Fig. 11은 Fig. 10의 엑셀 데이터를 데이터베이스에 저장 이후의 그림이다. 불러온 데이터는 설계된 데이터베이스 테이블에 맞게 데이터 분류 작업을 거친 후 업로드 된다.

Fig. 10 Test Data Input Format

TestNo	Date	Product	Torus	Subslot	L.Blade	L.Process	T.Blade	T.Process	R.Blade	R.Process
1	2010_10_20	-	KSF235	T/C ASS_Y	F2	양산	시작	D	양산	시작
2	2010_10_20	-	KSF389	T/C ASS_Y	F5	양산	시작	E	양산	시작
3	2010_10_20	-	KSF248	T/C ASS_Y	F16	양산	시작	R	양산	시작
4	2010_10_20	-	KSF236-5	T/C ASS_Y	F2	양산	시작	D	양산	시작
5	40471	KPH240 ad	KSF240	T/C ASS_Y	F3	양산	시작	D	양산	시작

TestNo	SR	TR	CF	EFF
1	0	2.04	29.4	0
2	0.1	1.93	29.8	19.3
3	0.2	1.8	30.5	36
4	0.3	1.67	30.8	50.1
5	0.4	1.54	30.9	61.6
6	0.5	1.41	30.7	70.5
7	0.75	1.12	24.5	84
8	0.8	1.06	23	84.8
9	0.85	0.99	21.4	84.15
10	0.86	0.98	20.6	84.28
11	0.87	0.98	19.3	85.26
12	0.88	0.98	18	86.24
13	0.89	0.99	16.4	88.11
14	0.9	0.99	15.1	89.1
15	0.92	0.99	12.3	91.08
16	0.94	0.98	9.6	92.12

Fig. 11 Results Uploaded to Database

4.3 데이터베이스 검색 모듈 구현 및 시험

데이터베이스 검색 모듈은 사용자가 부여한 특정 조건에 따라 데이터를 검색하고 그 결과를 출력한다. Fig. 12는 데이터 검색 모듈의 User Interface를 나타낸다. 왼쪽의 탭에서 사용자가 원하는 TR, SR, CF, EFF를 검색조건으로 하여 검색을 하였을 때 그 조건에 맞는 데이터를 찾아주고 그 데이터의 성능 그

래프를 표현해 준다. 위의 그래프는 속도비에 따른 용량 및 토크비를 나타낸 그래프이고 아래의 그래프는 속도비에 따른 효율을 나타낸 그래프이다. 이 모듈을 토대로 설계자는 기존의 데이터베이스에 축적되어 있는 토크 컨버터의 성능을 검색한다.

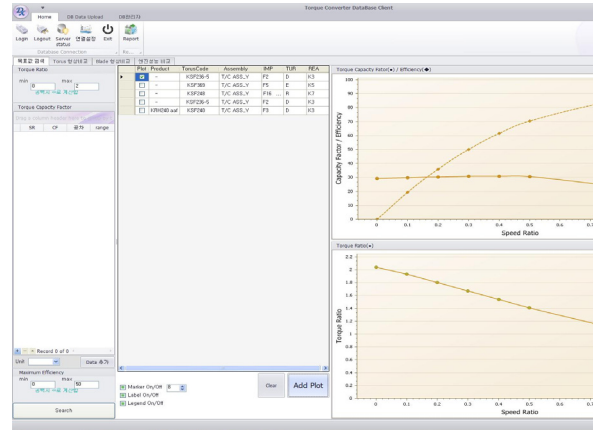


Fig. 12 Data Search Module

Fig. 13은 토러스 검색 모듈의 User Interface를 나타낸다. 토러스의 종류를 검색 조건으로 하여 검색된 토러스의 2D형상을 표현한다. 토러스는 박형비와 편평비의 정보를 이용하여 설계를 하기 때문에 데이터베이스에 축적되어 있는 데이터를 토대로 박형비와 편평비를 계산한다.

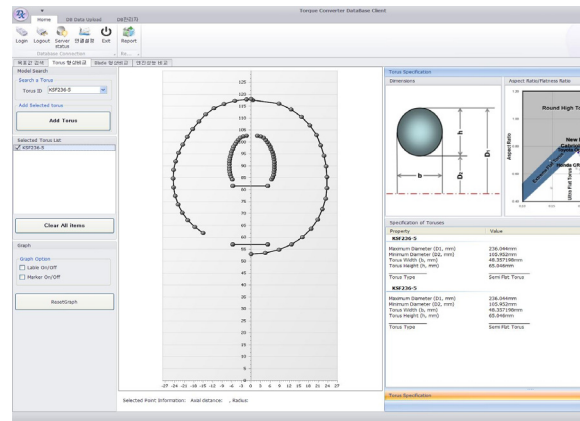


Fig. 13 Torus Shape Compare Module

Fig. 14는 블레이드 검색 모듈의 User Interface를 나타낸다. 토러스별 블레이드를 검색하여 형상을 표현함으로써 기존 데이터베이스에 저장되어 있는 블레이드의 형상을 검토하고 블레이드를 두 개 이상 불러들여 형상을 서로 비교한다. 또한 설계된 블레이드의 입력각과 출력각을 알 수 있으므로 유체동 성능을 미리 예측하여 블레이드의 사양의 결정한다.

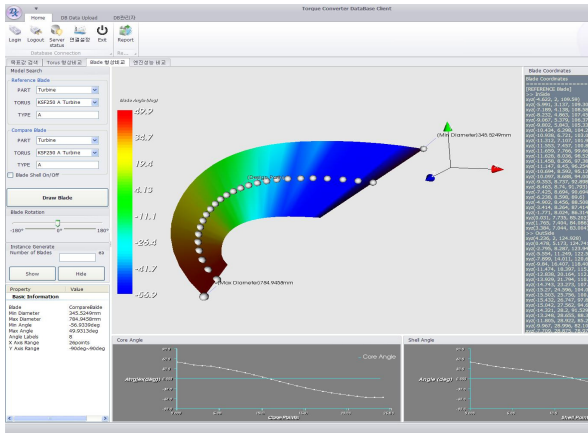


Fig. 14 Blade Shape Compare Module

5. 결 론

본 연구에서는 토크 컨버터의 초기 개념 설계 시에 소모되는 시간을 줄이고자 기존의 엔진 성능과 유체동 성능에 대해 데이터베이스를 구축하였다. 또한 기존에 설계자가 토크 컨버터 개념 설계 단계에서 사용하였던 데이터들을 데이터베이스에 입력하기 쉽게 하기 위하여 데이터들의 포맷을 만들어 이를 제안하였다. 또한 입력된 데이터들을 바탕으로 데이터 저장 및 검색 모듈을 구현하였으며, 시험을 통하여 데이터가 정상적으로 저장되고 사용자가 원하는 정보를 검색할 수 있음을 확인하였다.

향후 연구과제로, 토크 컨버터의 개념 설계 단계에서만 사용되는 데이터베이스가 아니라 상세 설계에서도 이용될 수 있는 데이터베이스를 구축할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 한국과워트레인(주)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사합니다.

참고 문헌

1. 김성근, 허영무, 변철웅, 2000, “사출 금형 설계를 위한 엔지니어링 데이터베이스의 개발”, 한국정밀공학회지 제17권, 제10호, pp. 89-94
2. 이상현, 강무진, 엄광호, 2011, “온톨로지 기반 지능형 금형 설계 시스템의 개발”, 한국CAD/CAM학회논문집, 제16권, 제3호, pp. 167-177
3. 강무진, 엄광호, 김태수, 2005 “지식 기반 사출 금

형 설계 시스템 구조”, 한국정밀공학회논문집, pp. 119-123

4. 이강수, 김원훈, 석정호, 2009, “CAD 시스템에서의 체결류 설계에 대한 연구”, 대한기계학회논문집, pp. 512-513
5. 박준상, 김재정, 2008, “관계형 데이터베이스를 이용한 CAD 데이터의 관리와 응용”, 한국CAD/CAM학회논문집, pp. 527-536
6. 김준환, 한순홍, 2002, “STEP 데이터베이스를 Native Storage로 가지는 3차원 선체 CAD에서 형상 모델링 커널과 데이터베이스간의 인터페이스”, 제7권, 제3호, 한국CAD/CAM학회논문집, pp. 202-209
7. 천두만, 안성훈, 장재덕, 2006, “웹기반 재료 데이터베이스 구축 및 자동차 엔진폴리용 재료 선정에”, 한국자동차공학회논문집, 제14권, 제4호, pp. 107-114
8. 최완, 권의섭, 장영기, 장재덕, 주인식, 2009, “토크 컨버터 토러스 형상 변화에 따른 유동 특성에 관한 연구” 한국자동차공학회논문집, pp. 712-717
9. 이동현, 이현호, 장재덕, 주인식, 2007, “토크 컨버터 터빈 블레이드 구조해석에 대한 연구”, 한국자동차공학회, pp. 812-817
10. 서정민 외 7인, 2010, “선박에서 데이터의 통합 관리를 위한 데이터베이스 설계 및 구현”, 한국마린엔지니어링학회지, 제34권, 제8호, pp. 1188-1194