

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일

2024 년 12 월 12 일 (12.12.2024)



WIPO | PCT



(10) 국제공개번호

WO 2024/253498 A1

(51) 국제특허분류:

G06F 30/17 (2020.01)

F03B 3/12 (2006.01)

G06F 111/10 (2020.01)

G06F 111/04 (2020.01)

(21) 국제출원번호:

PCT/KR2024/095205

(22) 국제출원일:

2024 년 2 월 15 일 (15.02.2024)

(25) 출원언어:

한국어

(26) 공개언어:

한국어

(30) 우선권정보:

10-2023-0073179 2023 년 6 월 7 일 (07.06.2023) KR

(71) 출원인: 한국생산기술연구원 (KOREA INSTITUTE OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY) [KR/KR]; 31056 충청남도 천안시 서북구 입장면 양대기로길 89, Chungcheongnam-do (KR).

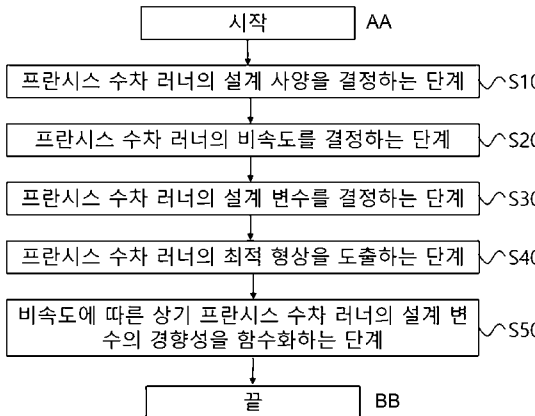
(72) 발명자: 김진혁 (KIM, Jin Hyuk); 22000 인천광역시 연수구 해송로 143, 107동 1101호, Incheon (KR). 노민수 (ROH, Min Su); 31061 충청남도 천안시 서북구 입장면 도림길 10, 107동 502호, Chungcheongnam-do (KR). 김성 (KIM, Sung); 31156 충청남도 천안시 서북구 불당2로 80, 404동 1001호, Chungcheongnam-do (KR).

(74) 대리인: 오영진 (OH, Young Jin); 16690 경기도 수원시 영통구 덕영대로1556번길 16, B동 1406호, Gyeonggi-do (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,

(54) Title: METHOD FOR DESIGNING BLADE THICKNESS OF FRANCIS TURBINE RUNNER ACCORDING TO SPECIFIC SPEED AND TURBINE SIZE, AND FRANCIS TURBINE RUNNER DESIGNED THEREBY

(54) 발명의 명칭: 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법, 이에 의하여 설계된 프란시스 수차 러너



S10 ... Step of determining design specification of Francis turbine runner

S20 ... Step of determining specific speed of Francis turbine runner

S30 ... Step of determining design parameter of Francis turbine runner

S40 ... Step of deriving optimal shape of Francis turbine runner

S50 ... Step of formulating function expressing tendency of design parameter of Francis aberration turbine according to specific speed

AA ... Start

BB ... End

(57) Abstract: The present invention relates to a method for designing the blade thickness of Francis turbine runner according to the specific speed and turbine size, and a Francis turbine runner designed thereby. According to an embodiment of the present invention, the method for designing the blade thickness of a Francis turbine runner according to the specific velocity and the turbine size may comprise the steps of: determining the design specification of a Francis turbine runner installed in a turbine; determining the specific speed of the Francis turbine runner; determining a design parameter of the Francis turbine runner; deriving the optimal shape of the Francis turbine runner; and formulating a function expressing the tendency of the design parameter of the Francis aberration turbine

[다음 쪽 계속]



NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의
역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, CV, GH, GM,
KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,
ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

according to the specific speed.

(57) 요약서: 본 발명은 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법, 이에 의하여 설계된
프란시스 수차 러너에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의
블레이드 두께 설계방법은 수차에 설치되는 프란시스 수차 러너의 설계 사양을 결정하는 단계; 상기 프란시스 수차 러너의
비속도를 결정하는 단계; 상기 프란시스 수차 러너의 설계 변수를 결정하는 단계; 상기 프란시스 수차 러너의 최적 형상을
도출하는 단계; 및 상기 비속도에 따른 상기 프란시스 수차 러너의 설계 변수의 경향성을 함수화하는 단계를 포함할 수 있다.

명세서

발명의 명칭: 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법, 이에 의하여 설계된 프란시스 수차 러너 기술분야

- [1] 본 발명은 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법, 이에 의하여 설계된 프란시스 수차 러너에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 일반적으로 수차는 수력발전에서 물의 위치에너지를 기계적 에너지로 바꾸어 주는 것이다.
- [3] 이 중, 프란시스 수차는 수력 발전에 적용되는 반동 수차의 일종으로서, 폭넓은 낙차(H) 및 비속도(Ns) 범위에 적용 가능하며 다른 수차 타입보다 상대적으로 높은 효율 및 쉬운 구조적 설계의 특징을 가지고 있다.
- [4] 이와 같은 종래의 프란시스 수차에는 대한민국 등록특허 제10-1556358호 '크로스형 블레이드 러너를 사용하는 프란시스 수차'가 있다.
- [5] 종래에는 요구되는 설계 사양에서 성능을 만족하는 프란시스 수차 러너 형상을 도출하기 위해, 요구되는 설계 사양별로 프란시스 수차 러너 최적 설계를 각각 실시하여야 하는 문제점이 있었다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [6] 상기와 같은 기술적 배경을 바탕으로 안출된 것으로, 본 발명의 일 실시예는 설계 사양별로 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께가 최적화되도록 설계하여 성능을 향상시킬 수 있는 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법, 이에 의하여 설계된 프란시스 수차 러너를 제공하고자 한다.

과제 해결 수단

- [7] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 일 실시예에 따른 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법은 프란시스 수차 러너의 설계 사양을 결정하는 단계; 상기 프란시스 수차 러너의 비속도를 결정하는 단계; 상기 프란시스 수차 러너의 설계 변수를 결정하는 단계; 상기 프란시스 수차 러너의 최적 형상을 도출하는 단계; 및 상기 비속도에 따른 상기 프란시스 수차 러너의 설계 변수의 경향성을 함수화하는 단계를 포함할 수 있다.
- [8] 또한, 상기 프란시스 수차 러너의 설계 사양을 결정하는 단계에서, 상기 설계 사양은 수차출력, 수두 및 회전수일 수 있다.
- [9] 또한, 상기 프란시스 수차 러너의 비속도를 결정하는 단계에서, 상기 비속도는

- [10]
$$N_S = \frac{NP^{1/2}}{H^{5/4}} \quad [\text{rev/min}, \text{kw}, \text{m}]$$
- [11] 이고, 이때, N_S 는 상기 비속도, P 는 상기 수차출력, H 는 상기 수두, N 은 상기 회전수이며, 상기 비속도는 상기 수차출력, 수두 및 회전수에 의해 결정될 수 있다.
- [12] 또한, 상기 비속도는 90 ~ 330의 범위에서 결정될 수 있다.
- [13] 또한, 상기 프란시스 수차 러너의 효율은, 비속도 90 ~ 330의 범위에서 상기 비속도 값에 따라 단위 구간별로 경향성을 가질 수 있다.
- [14] 또한, 상기 프란시스 수차 러너의 설계 변수를 결정하는 단계에서, 상기 설계 변수는 블레이드의 허브에서의 최대 두께, 블레이드의 미드에서의 최대 두께, 블레이드의 쉬라우드에서의 최대 두께, 블레이드의 허브에서의 입구부터 출구까지별 두께, 블레이드의 미드에서의 입구부터 출구까지별 두께, 블레이드의 쉬라우드에서의 입구부터 출구까지별 두께를 포함할 수 있다.
- [15] 또한, 상기 블레이드의 허브에서의 최대 두께, 블레이드의 미드에서의 최대 두께, 블레이드의 쉬라우드에서의 최대 두께, 블레이드의 허브에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께, 블레이드의 미드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께, 블레이드의 쉬라우드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께는 비속도 90 ~ 330의 범위에서 상기 비속도 값에 따라 단위 구간별로 경향성을 가질 수 있다.
- [16] 또한, 상기 블레이드의 허브에서의 최대 두께는,
- [17]
$$Y_1 = K_1 \times P$$
- [18] 이고, 이때, Y_1 는 상기 블레이드의 허브에서의 최대 두께, K_1 은 $-L_1 S^3 + M_1 S^2 - N_1 S + O_1$ 이고, $0.0000000007 < L_1 < 0.0000000013$, $0.0000007 < M_1 < 0.0000015$, $0.00028 < N_1 < 0.00033$, $0.050 < O_1 < 0.061$ 이며, S 는 비속도, P 는 상기 수차의 직경일 수 있다.
- [19] 또한, 상기 블레이드의 미드에서의 최대 두께는,
- [20]
$$Y_2 = K_2 \times P$$
- [21] 이고, 이때, Y_2 는 상기 블레이드의 미드에서의 최대 두께, K_2 은 $M_2 S^2 - N_2 S + O_2$ 이고, $0.00000017 < M_2 < 0.00000025$, $0.000085 < N_2 < 0.000093$, $0.0385 < O_2 < 0.0413$ 이며, S 는 비속도, P 는 상기 수차의 직경일 수 있다.
- [22] 또한, 상기 블레이드의 쉬라우드에서의 최대 두께는,
- [23]
$$Y_3 = K_3 \times P$$
- [24] 이고, 이때, Y_3 는 상기 블레이드의 쉬라우드에서의 최대 두께, K_3 은 $M_3 S^2 - N_3 S + O_3$ 이고, $0.00000037 < M_3 < 0.00000043$, $0.00013 < N_3 < 0.00025$, $0.0623 < O_3 < 0.0635$ 이며, S 는 비속도, P 는 상기 수차의 직경일 수 있다.
- [25] 또한, 상기 블레이드의 허브에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께는,
- [26]
$$Y_4 = A_1 X^6 + B_1 X^5 + C_1 X^4 + D_1 X^3 + E_1 X^2 + F_1 X + G_1$$
- [27] 이고, 이때, Y_4 는 상기 블레이드의 허브에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께,

- [28] $A_1 = M_{A1}V^2 - N_{A1}V - O_{A1}$, $0.00027 < M_{A1} < 0.00034$, $0.263 < N_{A1} < 0.0277$, $27 < O_{A1} < 35$,
- [29] $B_1 = -M_{B1}V^2 + N_{B1}V + O_{B1}$, $0.00075 < M_{B1} < 0.00083$, $0.907 < N_{B1} < 0.915$, $79 < O_{B1} < 85$,
- [30] $C_1 = M_{C1}V^2 - N_{C1}V - O_{C1}$, $0.0006 < M_{C1} < 0.0013$, $1.13 < N_{C1} < 1.27$, $81 < O_{C1} < 92$,
- [31] $D_1 = -M_{D1}V^2 + N_{D1}V + O_{D1}$, $0.00055 < M_{D1} < 0.00065$, $0.837 < N_{D1} < 0.849$, $38 < O_{D1} < 47$,
- [32] $E_1 = M_{E1}V^2 - N_{E1}V - O_{E1}$, $0.00017 < M_{E1} < 0.00024$, $0.313 < N_{E1} < 0.327$, $8.1 < O_{E1} < 9.7$,
- [33] $F_1 = -M_{F1}V^2 + N_{F1}V + O_{F1}$, $0.000043 < M_{F1} < 0.000054$, $0.045 < N_{F1} < 0.057$, $1.81 < O_{F1} < 2.05$,
- [34] $G_1 = -M_{G1}V^2 + N_{G1}V + O_{G1}$, $0.0000033 < M_{G1} < 0.0000047$, $0.00177 < N_{G1} < 0.00187$, $0.0165 < O_{G1} < 0.0173$,
- [35] V 는 비속도이고, X 는 무차원화된 입구로부터의 출구 사이의 위치로 $0 \leq X \leq 1$ 일 수 있다.
- [36] 또한, 상기 블레이드의 미드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께는,
- [37] $Y_5 = A_2X^6 + B_2X^5 + C_2X^4 + D_2X^3 + E_2X^2 + F_2X + G_2$
- [38] 이고, 이때, Y_5 는 상기 블레이드의 미드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께,
- [39] $A_2 = -M_{A2}V^2 - N_{A2}V + O_{A2}$, $0.00005 < M_{A2} < 0.00013$, $0.315 < N_{A2} < 0.327$, $43.3 < O_{A2} < 45$,
- [40] $B_2 = M_{B2}V^2 + N_{B2}V - O_{B2}$, $0.00033 < M_{B2} < 0.00043$, $0.93 < N_{B2} < 1.07$, $115 < O_{B2} < 123$,
- [41] $C_2 = -M_{C2}V^2 - N_{C2}V + O_{C2}$, $0.00033 < M_{C2} < 0.00049$, $1.16 < N_{C2} < 1.27$, $119 < O_{C2} < 127$,
- [42] $D_2 = M_{D2}V^2 + N_{D2}V - O_{D2}$, $0.00017 < M_{D2} < 0.00024$, $0.723 < N_{D2} < 0.737$, $55 < O_{D2} < 63$,
- [43] $E_2 = -M_{E2}V^2 - N_{E2}V + O_{E2}$, $0.000015 < M_{E2} < 0.000023$, $0.233 < N_{E2} < 0.247$, $10.3 < O_{E2} < 11.5$,
- [44] $F_2 = -M_{F2}V^2 + N_{F2}V + O_{F2}$, $0.0000053 < M_{F2} < 0.0000064$, $0.0333 < N_{F2} < 0.0347$, $1.31 < O_{F2} < 1.45$,
- [45] $G_2 = -M_{G2}V^2 + N_{G2}V + O_{G2}$, $0.0000011 < M_{G2} < 0.0000023$, $0.00043 < N_{G2} < 0.000057$, $0.191 < O_{G2} < 0.21$,
- [46] V 는 비속도이고, X 는 무차원화된 입구로부터의 출구 사이의 위치로 $0 \leq X \leq 1$ 일 수 있다.
- [47] 또한, 상기 블레이드의 쉬라우드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께는,

- [48] $Y_6 = A_3X^6 + B_3X^5 + C_3X^4 + D_3X^3 + E_3X^2 + F_3X + G_3$
- [49] 이고, 이때, Y_5 는 상기 블레이드의 쉬라우드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께,
- [50] $A_3 = -M_{A3}V^2 + N_{A3}V + OM_{A3}$, $0.00013 < M_{A3} < 0.00024$, $0.00525 < N_{A3} < 0.00533$, $13.1 < O_{A3} < 15$,
- [51] $B_3 = M_{B3}V^2 + N_{B3}V - O_{B3}$, $0.00011 < M_{B3} < 0.00027$, $0.0452 < N_{B3} < 0.0463$, $19.1 < O_{B3} < 23$,
- [52] $C_3 = M_{C3}V^2 - NM_{C3}V - O_{C3}$, $0.00021 < M_{C3} < 0.00034$, $0.145 < N_{C3} < 0.153$, $12.3 < O_{C3} < 14.5$,
- [53] $D_3 = -M_{D3}V^2 + N_{D3}V + O_{D3}$, $0.00051 < M_{D3} < 0.00062$, $0.175 < N_{D3} < 0.183$, $32.7 < O_{D3} < 35$,
- [54] $E_3 = M_{E3}V^2 - N_{E3}V - O_{E3}$, $0.00023 < M_{E3} < 0.00032$, $0.05 < N_{E3} < 0.15$, $17.1 < O_{E3} < 19.7$,
- [55] $F_3 = I_{F3}V^4 - L_{F3}V^3 + M_{F3}V^2 - N_{F3}V + O_{F3}$, $0.0000000051 < I_{F3} < 0.0000000064$, $0.0000045 < L_{F3} < 0.0000053$, $0.00131 < M_{F3} < 0.00149$, $0.153 < N_{F3} < 0.165$, $13.3 < O_{F3} < 14.7$,
- [56] $G_3 = -M_{G3}V^2 + N_{G3}V + O_{G3}$, $0.000000033 < M_{G3} < 0.000000047$, $0.00035 < N_{G3} < 0.00051$, $0.0803 < O_{G3} < 0.0819$,
- [57] V 는 비속도이고, X 는 무차원화된 입구로부터의 출구 사이의 위치로 $0 \leq X \leq 1$ 일 수 있다.
- [58] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 일 실시예에 따른 프란시스 수차 러너는 상술한 바와 같은 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법에 의하여 설계될 수 있다.

발명의 효과

- [59] 본 발명의 일 실시예에 따른 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법은 설계 사양별로 프란시스 수차 러너의 성능을 최적화할 수 있도록 블레이드의 두께가 최적화된 프란시스 수차 러너의 형상을 설계할 수 있다.
- [60] 본 발명의 일 실시예에 따른 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법은 설계 변수 경향성을 이용하여 비속도별로 효율을 만족하는 프란시스 수차 러너를 설계할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [61] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법의 순서도를 나타낸 것이다.
- [62] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 프란시스 수차 러너를 나타낸 것이다.

- [63] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드의 자오면을 나타낸 것이다.
- [64] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 프란시스 수차 러너의 설계 변수를 설명하기 위한 것이다.
- [65] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 프란시스 수차 러너의 설계 변수를 설명하기 위한 것이다.
- [66] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 프란시스 수차 러너의 설계 변수를 설명하기 위한 것이다.
- [67] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 프란시스 수차 러너의 설계 변수를 설명하기 위한 것이다.
- [68] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 프란시스 수차 러너의 설계 변수를 설명하기 위한 것이다.
- [69] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 프란시스 수차 러너의 설계 변수를 설명하기 위한 것이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [70] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 붙였다.
- [71] 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [72] 도 1 내지 도 9를 참고하면, 본 발명은 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법, 이에 의하여 설계된 프란시스 수차 러너에 관한 것이다.
- [73] 도 2를 참고하면, 프란시스 수차 러너(100)는, 복수 개의 블레이드(110) 각각의 일단과 결합하는 허브(120); 및 복수 개의 블레이드(110) 각각의 타단과 결합하는 쉬라우드(130)를 더 구비할 수 있다.
- [74] 허브(120)는 발전기와 결합하고, 이에 의해 프란시스 수차 러너(100)가 회전하는 경우 발전기의 회전 샤프트가 회전하여 발전기에서 발전이 수행될 수 있다.
- [75] 허브(120)는 프란시스 수차 러너(100)의 회전축에 수직인 단면적이 가변하는 콘(cone)의 형상을 구비하고, 유체가 유입되는 상부보다 하부의 단면적이 작은 형상을 구비할 수 있다.

- [76] 또한, 쉬라우드(130)는 원형 밴드의 형상을 구비하고 쉬라우드(130)의 내측면에 각 블레이드(110)의 타단이 결합될 수 있다. 상기와 같은 허브(120)와 쉬라우드(130)에 의해 블레이드(110)가 고정 지지될 수 있다.
- [77] 그리고, 블레이드(110)는 만곡형을 구비하며, 허브(120)와 쉬라우드(130)가 상기와 같이 형성됨으로써, 블레이드(110)의 표면에 대한 유체의 유동 힘의 전달 비율이 증가하여 프란시스 수차 러너(100)의 출력계수가 증가함으로써, 프란시스 수차 러너(100)의 출력 효율이 증가할 수 있다.
- [78] 본 발명은 비속도에 따른 프란시스 수차 러너 형상의 경향성을 분석하기 위해, 프란시스 수차 러너의 설계 변수를 정립하였고, 정립된 설계 변수 대상으로 비속도에 따른 설계 변수의 경향성을 분석하였다.
- [79] 그리고, 선행연구로 최적 설계된 프란시스 수차 러너 형상 및 선진문헌을 분석하여, 비속도에 따른 설계 변수의 경향성을 파악하였다. 또한, 프란시스 수차 러너 형상 및 선진문헌 기반으로 구축된 설계 변수의 경향성을 이용하여 프란시스 수차 러너 형상을 설계하였다. 그리고, 설계 변수의 경향성을 이용하여 설계된 프란시스 수차 러너 형상은 수치해석을 이용하여 성능을 검증하였다.
- [80] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 프란시스 수차 러너 설계 방법은 프란시스 수차 러너의 설계 사양을 결정하는 단계(S10), 프란시스 수차 러너의 비속도를 결정하는 단계(S20), 프란시스 수차 러너의 설계 변수를 결정하는 단계(S30), 프란시스 수차 러너의 최적 형상을 도출하는 단계(S40) 및 비속도에 따른 프란시스 수차 러너의 설계 변수의 경향성을 함수화하는 단계(S50)를 포함할 수 있다.
- [81] 프란시스 수차 러너의 설계 사양을 결정하는 단계(S10)에서는 프란시스 수차 러너(10)를 설계할 때 요구되는 설계 사양인 수차출력(P), 수두(H) 및 회전수(N)를 결정하며, 프란시스 수차 러너(10)를 설계할 때 요구되는 사양일 수 있다.
- [82] 이때, 수두 및 회전수는 프란시스 수차 러너가 회전하는 동안 기본적으로 만족해야 하는 사양이며, 출력은 유량에 따라 결정될 수 있다. 한편, 효율은 주어진 수차출력과 수두에서 최고 효율이 되도록 프란시스 수차 러너(10)가 설계될 수 있다.
- [83] 프란시스 수차 러너의 비속도를 결정하는 단계(S20)는 비속도를 결정할 수 있다.
- [84] 이때, 비속도(Specific Speed, N_s)는 이하 식으로 정의된다.
- [85] [수식1]
- $$N_s = \frac{NP^{1/2}}{H^{5/4}} \quad [rev/min, kw, m]$$
- [86] 이때, N_s 는 비속도, P는 수차출력(단위 : kW), H는 수두(단위 : m), N은 회전수(단위 : rev/min)이다.

- [87] 비속도는 수차출력, 수두 및 회전수에 의해 결정될 수 있고, 무차원수로 마련될 수 있다. 다시 말해, 프란시스 수차 러너의 설계 사양인 수차출력(P), 수두(H) 및 회전수(N)가 주어지면, 수학식1을 이용하여 비속도를 구할 수 있다.
- [88] 본 발명의 일 실시예에 따른 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법은 90 ~ 330의 범위에서 비속도가 결정될 수 있다. 그리고, 본 발명의 일 실시예에 따른 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법은 프란시스 수차 러너를 설계할 수 있다.
- [89] 프란시스 수차 러너의 설계 변수를 결정하는 단계(S30)에서 프란시스 수차 러너의 설계 변수는 블레이드의 허브에서의 최대 두께, 블레이드의 미드에서의 최대 두께, 블레이드의 쉬라우드에서의 최대 두께, 블레이드의 허브에서의 입구부터 출구까지별 두께, 블레이드의 미드에서의 입구부터 출구까지별 두께, 블레이드의 쉬라우드에서의 입구부터 출구까지별 두께를 포함할 수 있다.
- [90] 한편, 프란시스 수차 러너의 출구부의 직선 구간이 끝나는 지점에서 입구부까지 부드러운 곡선 형태로 연결하기 위하여 원호(Arc)를 조합하는 방식을 사용하거나, 혹은 베지어 곡선(Bezier curve)을 사용할 수 있다.
- [91] 프란시스 수차 러너의 최적 형상을 도출하는 단계(S40)는 프란시스 수차 러너의 효율인 설계 목적 값에 영향을 미치는 주요 설계 변수를 결정하는 단계(S41) 및 반응표면기법에 의해 설계 목적 값을 최적화할 수 있는 최적의 설계 변수의 조건을 파악하는 단계(S42) 및 최적의 설계 변수 조건으로 반응 최적화 기법을 이용하여 프란시스 수차 러너의 최적화 형상을 도출하는 단계(S43)를 포함할 수 있다.
- [92] 이때, 실험계획법은 근대적 통계 해석법을 기반으로 이상 변동을 가져오는 많은 원인 중에서 중요한 원인을 적은 비용으로 선정하고 그 효과를 수량적으로 측정하는 방법이다. 그리고 동시에 두 종류 이상의 인자를 대상으로 하여 그들의 효과를 개별적으로 측정할 수 있다.
- [93] 본 발명의 일 실시예에서 최적설계를 위한 수치최적화 기법으로 실험계획법의 반응표면기법(RSM, response surface method)을 사용하였다.
- [94] 설계 변수에 따른 프란시스 수차 러너의 성능을 분석하기 위해서는 설계 목적 값을 정의해야 한다. 이때, 설계 목적 값은 프란시스 수차 러너의 성능을 나타내는 프란시스 수차 러너의 효율일 수 있다.
- [95] 프란시스 수차 러너 3D 형상은 ANSYS CFX-BladeGen 프로그램을 사용하여 생성하였으며, 생성된 블레이드형상에 대하여 유체기계 격자생성 프로그램인 ANSYS CFXTurboGrid를 사용하여 정렬 격자계(structured grid)를 생성하였다.
- [96] 프란시스 수차 러너의 블레이드 수는 복수개이나 수치해석에 사용된 프란시스 수차 러너의 블레이드 형상이 동일하므로 해석시간을 고려하여 주기 조건(Periodic condition)을 사용하여 프란시스 수차 러너 1 개의 블레이드 영역에 대해서만 수치해석을 수행하였다.

- [97] 그리고, 각 비속도별로 최적화된 프란시스 수차 러너의 형상에서의 설계 변수인 블레이드의 허브에서의 최대 두께, 블레이드의 미드에서의 최대 두께, 블레이드의 쉬라우드에서의 최대 두께, 블레이드의 허브에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께, 블레이드의 미드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께, 블레이드의 쉬라우드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께의 수치들을 추출하여, 비속도에 따른 프란시스 수차 러너의 설계 변수들의 경향성을 함수화할 수 있다.
- [98] 비속도에 따른 프란시스 수차 러너의 설계 변수의 경향성을 함수화하는 단계(S50)는 각 비속도별로 추출된 설계 변수들의 수치를 이용하여, 설계 변수의 경향성을 함수화할 수 있다. 설계 변수는 Ns90급 프란시스 수차 러너 형상의 설계 변수로 무차원화 하였다.
- [99] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 프란시스 수차 러너의 설계 변수인 블레이드의 허브에서의 최대 두께를 도출하기 위한 하기 수학식2의 계수인 K_1 에 관한 것으로, K_1 의 비속도에 따른 경향성을 나타낸 것이다.
- [100] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 프란시스 수차 러너의 설계 변수인 블레이드의 미드에서의 최대 두께를 도출하기 위한 하기 수학식3의 계수인 K_2 에 관한 것으로, K_2 의 비속도에 따른 경향성을 나타낸 것이다.
- [101] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 프란시스 수차 러너의 설계 변수인 블레이드의 쉬라우드에서의 최대 두께를 도출하기 위한 하기 수학식4의 계수인 K_3 에 관한 것으로, K_3 의 비속도에 따른 경향성을 나타낸 것이다.
- [102] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 프란시스 수차 러너의 설계 변수인 블레이드의 허브에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께의 비속도에 따른 경향성을 나타낸 것이다.
- [103] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 프란시스 수차 러너의 설계 변수인 블레이드의 미드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께의 비속도에 따른 경향성을 나타낸 것이다.
- [104] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 프란시스 수차 러너의 설계 변수인 블레이드의 쉬라우드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께의 비속도에 따른 경향성을 나타낸 것이다.
- [105] 이를 통해, 블레이드의 허브에서의 최대 두께는 다음과 같은 수학식2로 도출될 수 있다.
- [106] [수식2]
- $$Y_1 = K_1 \times P$$
- [107] 이고, 이때, Y_1 는 블레이드의 허브에서의 최대 두께, K_1 은 $-L_1S^3 + M_1S^2 - N_1S + O_1$ 이고, $0.0000000007 < L_1 < 0.0000000013$, $0.00000007 < M_1 < 0.00000015$, $0.00028 < N_1 < 0.00033$, $0.050 < O_1 < 0.061$ 이며, S 는 비속도, P 는 수차의 직경일 수 있다. 바람직하게는, K_1 은 $-0.000000001S^3 + 0.0000001S^2 - 0.0003S + 0.057$ 일 수 있다.

[108] 또한, 블레이드의 미드에서의 최대 두께는 다음과 같은 수학식3으로 도출될 수 있다.

[109] [수식3]

$$Y_2 = K_2 \times P$$

[110] 이고, 이때, Y_2 는 블레이드의 미드에서의 최대 두께, K_2 은 $M_2S^2 - N_2S + O_2$ 이고, $0.00000017 < M_2 < 0.00000025$, $0.000085 < N_2 < 0.000093$, $0.0385 < O_2 < 0.0413$ 이며, S 는 비속도, P 는 수차의 직경일 수 있다. 바람직하게는, K_2 은 $0.0000002S^2 - 0.00009S + 0.039$ 일 수 있다.

[111] 또한, 블레이드의 쉬라우드에서의 최대 두께는 다음과 같은 수학식4로 도출될 수 있다.

[112] [수식4]

$$Y_3 = K_3 \times P$$

[113] 이고, 이때, Y_3 는 블레이드의 쉬라우드에서의 최대 두께, K_3 은 $M_3S^2 - N_3S + O_3$ 이고, $0.00000037 < M_3 < 0.00000043$, $0.00013 < N_3 < 0.00025$, $0.0623 < O_3 < 0.0635$ 이며, S 는 비속도, P 는 수차의 직경일 수 있다. 바람직하게는, K_3 은 $0.0000004S^2 - 0.0002S + 0.063$ 일 수 있다.

[114] 또한, 블레이드의 허브에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께는 다음과 같은 수학식5로 도출될 수 있다.

[115] [수식5]

$$Y_4 = A_1X^6 + B_1X^5 + C_1X^4 + D_1X^3 + E_1X^2 + F_1X + G_1$$

[116] 이고, 이때, Y_4 는 블레이드의 허브에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께일 수 있다.

[117] 그리고, $A_1 = M_{A1}V^2 - N_{A1}V - O_{A1}$, $0.00027 < M_{A1} < 0.00034$, $0.263 < N_{A1} < 0.0277$, $27 < O_{A1} < 35$,

[118] $B_1 = -M_{B1}V^2 + N_{B1}V + O_{B1}$, $0.00075 < M_{B1} < 0.00083$, $0.907 < N_{B1} < 0.915$, $79 < O_{B1} < 85$,

[119] $C_1 = M_{C1}V^2 - N_{C1}V - O_{C1}$, $0.0006 < M_{C1} < 0.0013$, $1.13 < N_{C1} < 1.27$, $81 < O_{C1} < 92$,

[120] $D_1 = -M_{D1}V^2 + N_{D1}V + O_{D1}$, $0.00055 < M_{D1} < 0.00065$, $0.837 < N_{D1} < 0.849$, $38 < O_{D1} < 47$,

[121] $E_1 = M_{E1}V^2 - N_{E1}V - O_{E1}$, $0.00017 < M_{E1} < 0.00024$, $0.313 < N_{E1} < 0.327$, $8.1 < O_{E1} < 9.7$,

[122] $F_1 = -M_{F1}V^2 + N_{F1}V + O_{F1}$, $0.000043 < M_{F1} < 0.000054$, $0.045 < N_{F1} < 0.057$, $1.81 < O_{F1} < 2.05$,

[123] $G_1 = -M_{G1}V^2 + N_{G1}V + O_{G1}$, $0.0000033 < M_{G1} < 0.0000047$, $0.00177 < N_{G1} < 0.00187$, $0.0165 < O_{G1} < 0.0173$,

[124] V는 비속도일 수 있다. 또한, X는 무차원화된 입구로부터의 출구 사이의 위치로 $0 \leq X \leq 1$ 일 수 있다.

[125] 바람직하게는, $A_1 = 0.0003V^2 - 0.27V - 31$,

[126] $B_1 = -0.0008V^2 + 0.91V + 84$,

[127] $C_1 = 0.001V^2 - 1.2V - 87$,

[128] $D_1 = -0.0006V^2 + 0.84V + 42$,

[129] $E_1 = 0.0002V^2 - 0.32V - 9$,

[130] $F_1 = -0.00005V^2 + 0.05V + 1.9$,

[131] $G_1 = -0.000004V^2 + 0.0018V + 0.017$ 일 수 있다.

[132] 또한, 블레이드의 미드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께는 다음과 같은 수학적식6으로 도출될 수 있다.

[133] [수식6]

$$Y_5 = A_2X^6 + B_2X^5 + C_2X^4 + D_2X^3 + E_2X^2 + F_2X + G_2$$

[134] 이고, 이때, Y_5 는 블레이드의 미드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께일 수 있다.

[135] 그리고, $A_2 = -M_{A2}V^2 - N_{A2}V + O_{A2}$, $0.00005 < M_{A2} < 0.00013$, $0.315 < N_{A2} < 0.327$, $43.3 < O_{A2} < 45$,

[136] $B_2 = M_{B2}V^2 + N_{B2}V - O_{B2}$, $0.00033 < M_{B2} < 0.00043$, $0.93 < N_{B2} < 1.07$, $115 < O_{B2} < 123$,

[137] $C_2 = -M_{C2}V^2 - N_{C2}V + O_{C2}$, $0.00033 < M_{C2} < 0.00049$, $1.16 < N_{C2} < 1.27$, $119 < O_{C2} < 127$,

[138] $D_2 = M_{D2}V^2 + N_{D2}V - O_{D2}$, $0.00017 < M_{D2} < 0.00024$, $0.723 < N_{D2} < 0.737$, $55 < O_{D2} < 63$,

[139] $E_2 = -M_{E2}V^2 - N_{E2}V + O_{E2}$, $0.000015 < M_{E2} < 0.000023$, $0.233 < N_{E2} < 0.247$, $10.3 < O_{E2} < 11.5$,

[140] $F_2 = -M_{F2}V^2 + N_{F2}V + O_{F2}$, $0.0000053 < M_{F2} < 0.0000064$, $0.0333 < N_{F2} < 0.0347$, $1.31 < O_{F2} < 1.45$,

[141] $G_2 = -M_{G2}V^2 + N_{G2}V + O_{G2}$, $0.0000011 < M_{G2} < 0.0000023$, $0.00043 < N_{G2} < 0.000057$, $0.191 < O_{G2} < 0.21$,

[142] V는 비속도일 수 있다. 또한, X는 무차원화된 입구로부터의 출구 사이의 위치로 $0 \leq X \leq 1$ 일 수 있다.

[143] 바람직하게는, $A_2 = -0.0001V^2 - 0.32V + 44$,

[144] $B_2 = 0.0004V^2 + 1.0V - 120$,

[145] $C_2 = -0.0004V^2 - 1.2V + 124$,

[146] $D_2 = 0.0002V^2 + 0.73V - 59$,

[147] $E_2 = -0.00002V^2 - 0.24V + 11,$

[148] $F_2 = -0.000006V^2 + 0.034V + 1.4,$

[149] $G_2 = -0.000002V^2 + 0.0005V + 0.20$ 일 수 있다.

[150] 또한, 블레이드의 쉬라우드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께는 다음과 같은 수학식7로 도출될 수 있다.

[151] [수식7]

$$Y_6 = A_3X^6 + B_3X^5 + C_3X^4 + D_3X^3 + E_3X^2 + F_3X + G_3$$

[152] 이고, 이때, Y_5 는 블레이드의 쉬라우드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께일 수 있다.

[153] 그리고, $A_3 = -M_{A3}V^2 + N_{A3}V + O_{A3}$, $0.00013 < M_{A3} < 0.00024$, $0.00525 < N_{A3} < 0.00533$, $13.1 < O_{A3} < 15$,

[154] $B_3 = M_{B3}V^2 + N_{B3}V - O_{B3}$, $0.00011 < M_{B3} < 0.00027$, $0.0452 < N_{B3} < 0.0463$, $19.1 < O_{B3} < 23$,

[155] $C_3 = M_{C3}V^2 - N_{C3}V - O_{C3}$, $0.00021 < M_{C3} < 0.00034$, $0.145 < N_{C3} < 0.153$, $12.3 < O_{C3} < 14.5$,

[156] $D_3 = -M_{D3}V^2 + N_{D3}V + O_{D3}$, $0.00051 < M_{D3} < 0.00062$, $0.175 < N_{D3} < 0.183$, $32.7 < O_{D3} < 35$,

[157] $E_3 = M_{E3}V^2 - N_{E3}V - O_{E3}$, $0.00023 < M_{E3} < 0.00032$, $0.05 < N_{E3} < 0.15$, $17.1 < O_{E3} < 19.7$,

[158] $F_3 = I_{F3}V^4 - L_{F3}V^3 + M_{F3}V^2 - N_{F3}V + O_{F3}$, $0.0000000051 < I_{F3} < 0.0000000064$, $0.0000045 < L_{F3} < 0.0000053$, $0.00131 < M_{F3} < 0.00149$, $0.153 < N_{F3} < 0.165$, $13.3 < O_{F3} < 14.7$,

[159] $G_3 = -M_{G3}V^2 + N_{G3}V + O_{G3}$, $0.00000033 < M_{G3} < 0.00000047$, $0.00035 < N_{G3} < 0.00051$, $0.0803 < O_{G3} < 0.0819$,

[160] V 는 비속도일 수 있다. 또한, X 는 무차원화된 입구로부터의 출구 사이의 위치로 $0 \leq X \leq 1$ 일 수 있다.

[161] 바람직하게는, $A_3 = -0.0002V^2 + 0.0053V + 14$,

[162] $B_3 = 0.0002V^2 + 0.046V - 20$,

[163] $C_3 = 0.0003V^2 - 0.15V - 13$,

[164] $D_3 = -0.0006V^2 + 0.18V + 33$,

[165] $E_3 = 0.0003V^2 - 0.10V - 19$,

[166] $F_3 = 0.000000006V^4 - 0.000005V^3 + 0.0014V^2 - 0.16V + 14$,

[167] $G_3 = -0.0000004V^2 + 0.0004V + 0.081$ 일 수 있다.

[168] 수학식2 내지 수학식7과 같이, 설계 변수의 경향성을 함수화하고, 데이터베이스(D/B)화 하면, 비속도별로 최적화된 설계 변수가 출력될 수 있다.

- [169] 결과적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법은 설계 사양별로 프란시스 수차 러너의 성능을 최적화할 수 있도록 블레이드의 두께가 최적화된 프란시스 수차 러너의 형상을 설계할 수 있다.
- [170] 본 발명의 일 실시예에 따른 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법은 설계 변수 경향성을 이용하여 비속도별로 효율을 만족하는 프란시스 수차 러너를 설계할 수 있다.
- [171] 본 발명을 앞서 기재한 바에 따라 바람직한 실시예를 통해 설명하였지만, 본 발명은 이에 한정되지 않으며 다음에 기재하는 특허청구범위의 개념과 범위를 벗어나지 않는 한, 다양한 수정 및 변형이 가능하다는 것을 본 발명이 속하는 기술 분야에 종사하는 자들은 쉽게 이해할 것이다.

청구범위

- [청구항 1] 프란시스 수차 러너의 설계 사양을 결정하는 단계;
 상기 프란시스 수차 러너의 비속도를 결정하는 단계;
 상기 프란시스 수차 러너의 설계 변수를 결정하는 단계;
 상기 프란시스 수차 러너의 최적 형상을 도출하는 단계; 및
 상기 비속도에 따른 상기 프란시스 수차 러너의 설계 변수의 경향성을 함수화하는 단계를 포함하는 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법.
- [청구항 2] 제1 항에 있어서,
 상기 프란시스 수차 러너의 설계 사양을 결정하는 단계에서, 상기 설계 사양은 수차출력, 수두 및 회전수인 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법.
- [청구항 3] 제2 항에 있어서,
 상기 프란시스 수차 러너의 비속도를 결정하는 단계에서, 상기 비속도는
- $$N_s = \frac{NP^{1/2}}{H^{5/4}} \quad [rev/min, kw, m]$$
- 이고, 이때, N_s 는 상기 비속도, P 는 상기 수차출력, H 는 상기 수두, N 은 상기 회전수이며,
 상기 비속도는 상기 수차출력, 수두 및 회전수에 의해 결정되는 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법.
- [청구항 4] 제3 항에 있어서,
 상기 비속도는 90 ~ 330의 범위에서 결정되는 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법.
- [청구항 5] 제4 항에 있어서,
 상기 프란시스 수차 러너의 효율은, 비속도 90 ~ 330의 범위에서 상기 비속도 값에 따라 단위 구간별로 경향성을 가지는 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법.
- [청구항 6] 제1 항에 있어서,
 상기 프란시스 수차 러너의 설계 변수를 결정하는 단계에서,
 상기 설계 변수는 블레이드의 허브에서의 최대 두께, 블레이드의 미드에서의 최대 두께, 블레이드의 쉬라우드에서의 최대 두께, 블레이드의 허브에서의 입구부터 출구까지별 두께, 블레이드의 미드에서의 입구부터 출구까지별 두께, 블레이드의 쉬라우드에서의 입구부터 출구까지별 두께를 포함하는 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법.
- [청구항 7] 제6 항에 있어서,

상기 블레이드의 허브에서의 최대 두께, 블레이드의 미드에서의 최대 두께, 블레이드의 쉬라우드에서의 최대 두께, 블레이드의 허브에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께, 블레이드의 미드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께, 블레이드의 쉬라우드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께는 비속도 90 ~ 330의 범위에서 상기 비속도 값에 따라 단위 구간별로 경향성을 가지는 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법.

[청구항 8]

제7 항에 있어서,
상기 블레이드의 허브에서의 최대 두께는,

$$Y_1 = K_1 \times P$$

이고, 이때, Y_1 는 상기 블레이드의 허브에서의 최대 두께, K_1 은 $-L_1 S^3 + M_1 S^2 - N_1 S + O_1$ 이고, $0.0000000007 < L_1 < 0.0000000013$, $0.00000007 < M_1 < 0.00000015$, $0.00028 < N_1 < 0.00033$, $0.050 < O_1 < 0.061$ 이며, S 는 비속도, P 는 상기 수차의 직경인 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법.

[청구항 9]

제7 항에 있어서,
상기 블레이드의 미드에서의 최대 두께는,

$$Y_2 = K_2 \times P$$

이고, 이때, Y_2 는 상기 블레이드의 미드에서의 최대 두께, K_2 은 $M_2 S^2 - N_2 S + O_2$ 이고, $0.00000017 < M_2 < 0.00000025$, $0.000085 < N_2 < 0.000093$, $0.0385 < O_2 < 0.0413$ 이며, S 는 비속도, P 는 상기 수차의 직경인 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법.

[청구항 10]

제7 항에 있어서,
상기 블레이드의 쉬라우드에서의 최대 두께는,

$$Y_3 = K_3 \times P$$

이고, 이때, Y_3 는 상기 블레이드의 쉬라우드에서의 최대 두께, K_3 은 $M_3 S^2 - N_3 S + O_3$ 이고, $0.00000037 < M_3 < 0.00000043$, $0.00013 < N_3 < 0.00025$, $0.0623 < O_3 < 0.0635$ 이며, S 는 비속도, P 는 상기 수차의 직경인 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법.

[청구항 11]

제7 항에 있어서,
상기 블레이드의 허브에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께는,

$$Y_4 = A_1 X^6 + B_1 X^5 + C_1 X^4 + D_1 X^3 + E_1 X^2 + F_1 X + G_1$$

이고, 이때, Y_4 는 상기 블레이드의 허브에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께,

$$A_1 = M_{A1} V^2 - N_{A1} V - O_{A1}, 0.00027 < M_{A1} < 0.00034, 0.263 < N_{A1} < 0.0277, 27 < O_{A1} < 35,$$

$$B_1 = -M_{B1}V^2 + N_{B1}V + O_{B1}, 0.00075 < M_{B1} < 0.00083, 0.907 < N_{B1} < 0.915, 79 < O_{B1} < 85,$$

$$C_1 = M_{C1}V^2 - N_{C1}V - O_{C1}, 0.0006 < M_{C1} < 0.0013, 1.13 < N_{C1} < 1.27, 81 < O_{C1} < 92,$$

$$D_1 = -M_{D1}V^2 + N_{D1}V + O_{D1}, 0.00055 < M_{D1} < 0.00065, 0.837 < N_{D1} < 0.849, 38 < O_{D1} < 47,$$

$$E_1 = M_{E1}V^2 - N_{E1}V - O_{E1}, 0.00017 < M_{E1} < 0.00024, 0.313 < N_{E1} < 0.327, 8.1 < O_{E1} < 9.7,$$

$$F_1 = -M_{F1}V^2 + N_{F1}V + O_{F1}, 0.000043 < M_{F1} < 0.000054, 0.045 < N_{F1} < 0.057, 1.81 < O_{F1} < 2.05,$$

$$G_1 = -M_{G1}V^2 + N_{G1}V + O_{G1}, 0.0000033 < M_{G1} < 0.0000047, 0.00177 < N_{G1} < 0.00187, 0.0165 < O_{G1} < 0.0173,$$

V는 비속도이고, X는 무차원화된 입구로부터의 출구 사이의 위치로 $0 \leq X \leq 1$ 인 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법.

[청구항 12]

제7 항에 있어서,

상기 블레이드의 미드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께는,

$$Y_5 = A_2X^6 + B_2X^5 + C_2X^4 + D_2X^3 + E_2X^2 + F_2X + G_2$$

이고, 이때, Y_5 는 상기 블레이드의 미드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께,

$$A_2 = -M_{A2}V^2 - N_{A2}V + O_{A2}, 0.00005 < M_{A2} < 0.00013, 0.315 < N_{A2} < 0.327, 43.3 < O_{A2} < 45,$$

$$B_2 = M_{B2}V^2 + N_{B2}V - O_{B2}, 0.00033 < M_{B2} < 0.00043, 0.93 < N_{B2} < 1.07, 115 < O_{B2} < 123,$$

$$C_2 = -M_{C2}V^2 - N_{C2}V + O_{C2}, 0.00033 < M_{C2} < 0.00049, 1.16 < N_{C2} < 1.27, 119 < O_{C2} < 127,$$

$$D_2 = M_{D2}V^2 + N_{D2}V - O_{D2}, 0.00017 < M_{D2} < 0.00024, 0.723 < N_{D2} < 0.737, 55 < O_{D2} < 63,$$

$$E_2 = -M_{E2}V^2 - N_{E2}V + O_{E2}, 0.000015 < M_{E2} < 0.000023, 0.233 < N_{E2} < 0.247, 10.3 < O_{E2} < 11.5,$$

$$F_2 = -M_{F2}V^2 + N_{F2}V + O_{F2}, 0.0000053 < M_{F2} < 0.0000064, 0.0333 < N_{F2} < 0.0347, 1.31 < O_{F2} < 1.45,$$

$$G_2 = -M_{G2}V^2 + N_{G2}V + O_{G2}, 0.0000011 < M_{G2} < 0.0000023, 0.00043 < N_{G2} < 0.000057, 0.191 < O_{G2} < 0.21,$$

V는 비속도이고, X는 무차원화된 입구로부터의 출구 사이의 위치로 $0 \leq X \leq 1$ 인 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법.

[청구항 13] 제7 항에 있어서,
상기 블레이드의 쉬라우드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께는,
 $Y_6 = A_3X^6 + B_3X^5 + C_3X^4 + D_3X^3 + E_3X^2 + F_3X + G_3$
이고, 이때, Y_5 는 상기 블레이드의 쉬라우드에서의 입구부터 출구까지의 위치별 두께,

$$A_3 = -M_{A3}V^2 + N_{A3}V + O_{A3}, 0.00013 < M_{A3} < 0.00024, 0.00525 < N_{A3} < 0.00533, 13.1 < O_{A3} < 15,$$

$$B_3 = M_{B3}V^2 + N_{B3}V - O_{B3}, 0.00011 < M_{B3} < 0.00027, 0.0452 < N_{B3} < 0.0463, 19.1 < O_{B3} < 23,$$

$$C_3 = M_{C3}V^2 - N_{C3}V - O_{C3}, 0.00021 < M_{C3} < 0.00034, 0.145 < N_{C3} < 0.153, 12.3 < O_{C3} < 14.5,$$

$$D_3 = -M_{D3}V^2 + N_{D3}V + O_{D3}, 0.00051 < M_{D3} < 0.00062, 0.175 < N_{D3} < 0.183, 32.7 < O_{D3} < 35,$$

$$E_3 = M_{E3}V^2 - N_{E3}V - O_{E3}, 0.00023 < M_{E3} < 0.00032, 0.05 < N_{E3} < 0.15, 17.1 < O_{E3} < 19.7,$$

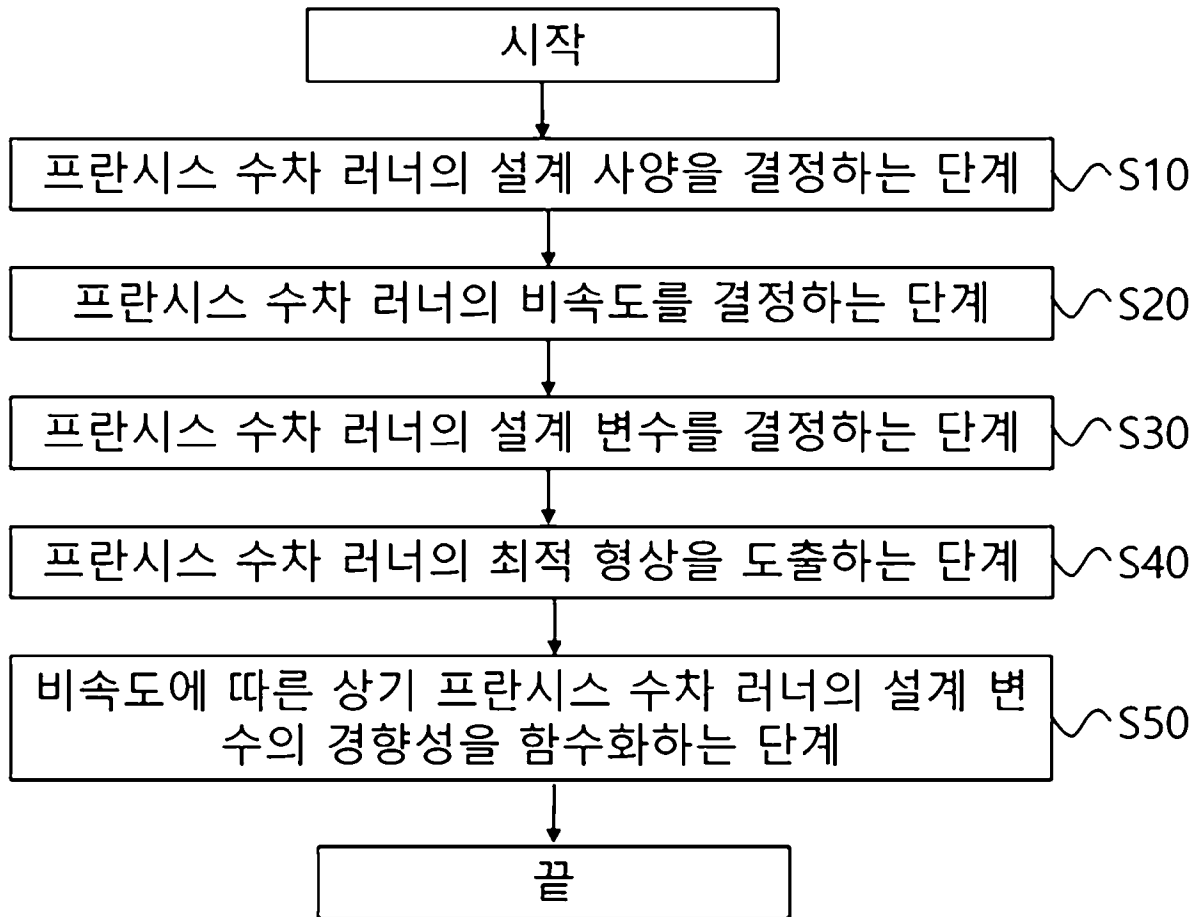
$$F_3 = I_{F3}V^4 - L_{F3}V^3 + M_{F3}V^2 - N_{F3}V + O_{F3}, 0.0000000051 < I_{F3} < 0.0000000064, 0.0000045 < L_{F3} < 0.0000053, 0.00131 < M_{F3} < 0.00149, 0.153 < N_{F3} < 0.165, 13.3 < O_{F3} < 14.7,$$

$$G_3 = -M_{G3}V^2 + N_{G3}V + O_{G3}, 0.00000033 < M_{G3} < 0.00000047, 0.00035 < N_{G3} < 0.00051, 0.0803 < O_{G3} < 0.0819,$$

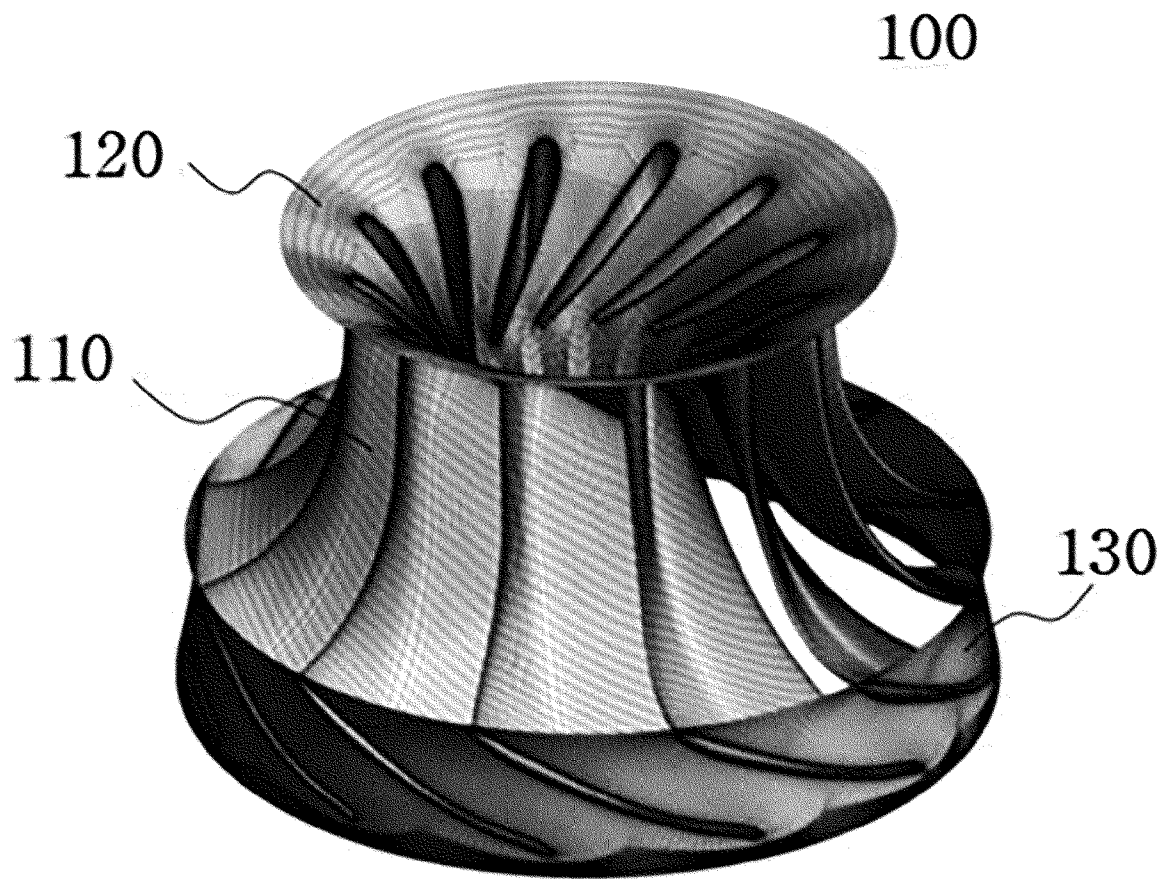
V는 비속도이고, X는 무차원화된 입구로부터의 출구 사이의 위치로 $0 \leq X \leq 1$ 인 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법.

[청구항 14] 제1 항 내지 제13 항 중 어느 한 항에 따른 비속도 및 수차의 크기에 따른 프란시스 수차 러너의 블레이드 두께 설계방법에 의하여 설계된 프란시스 수차 러너.

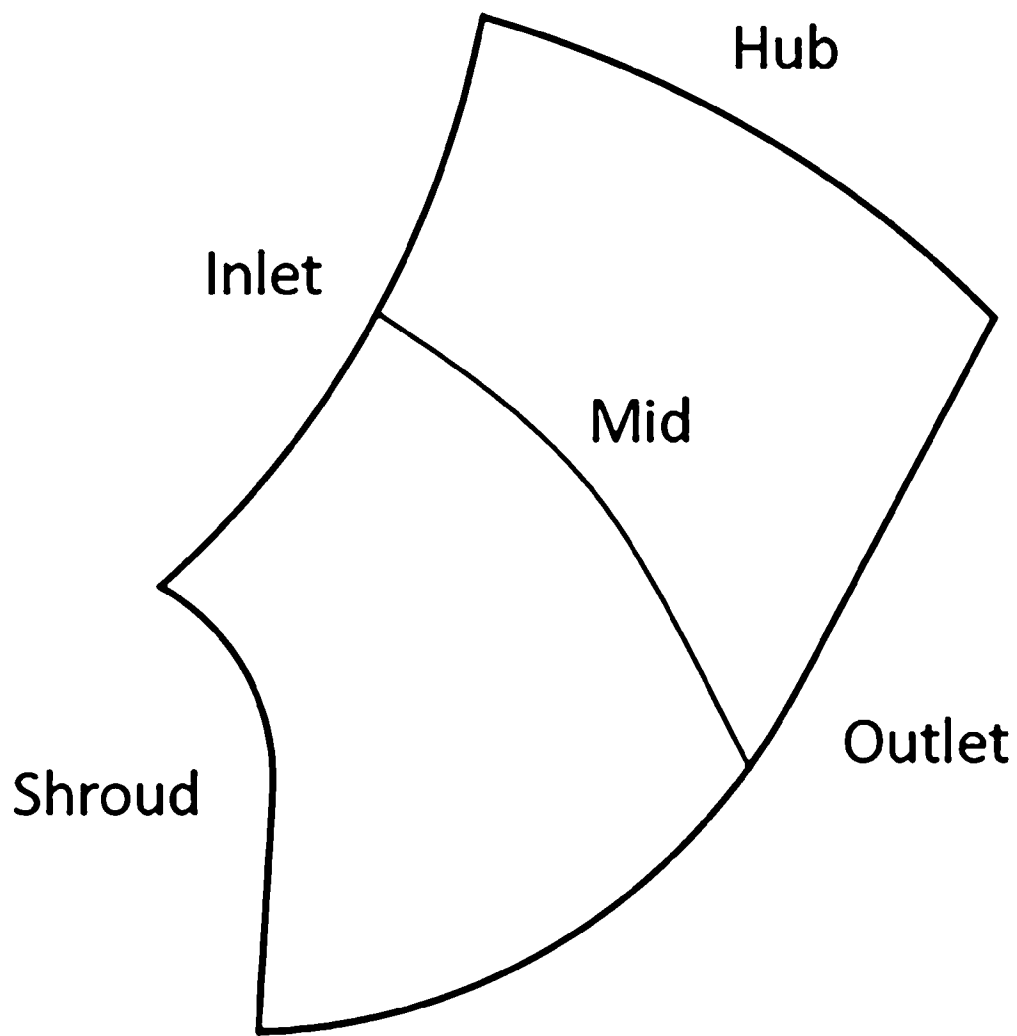
[도1]



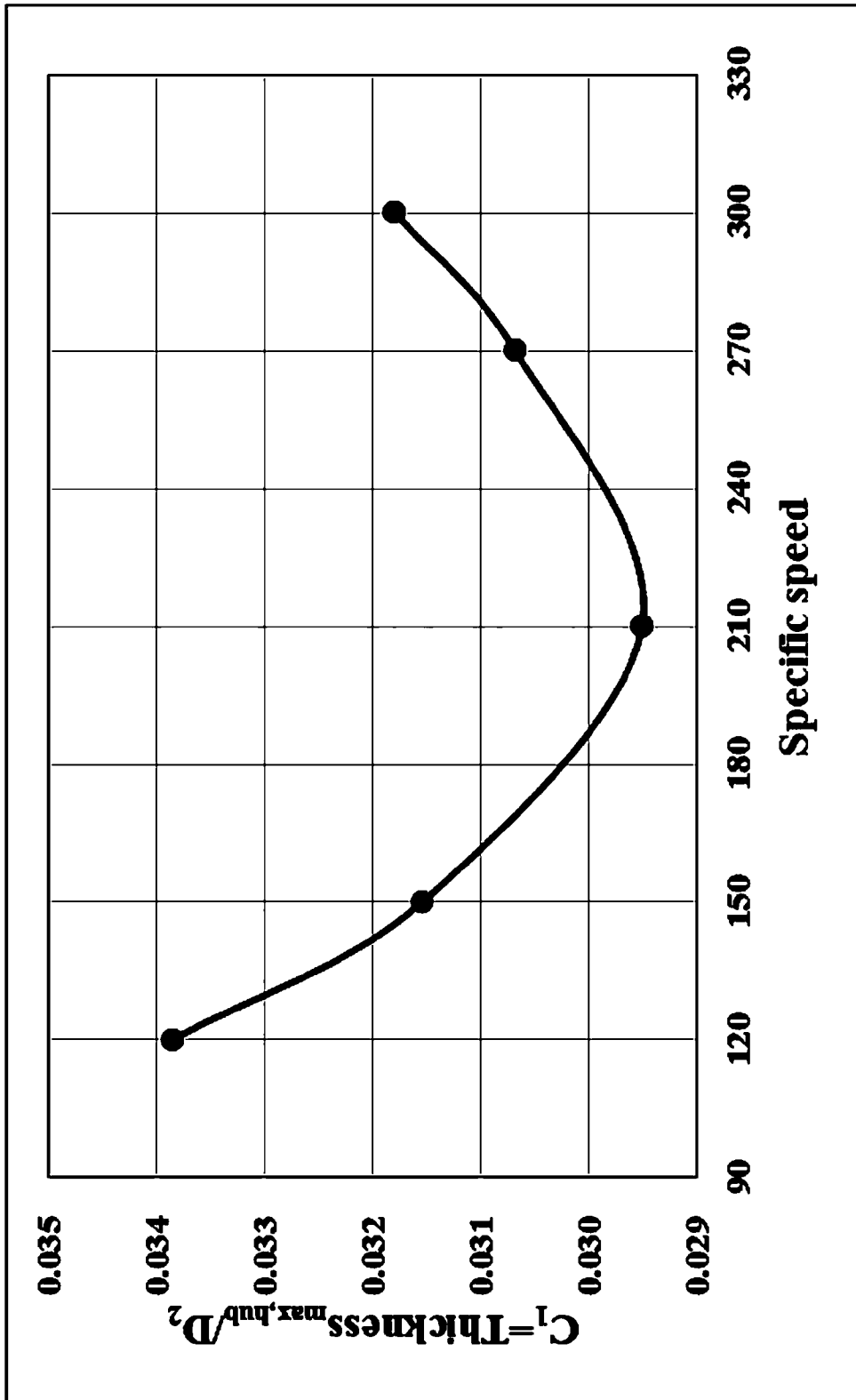
[도2]



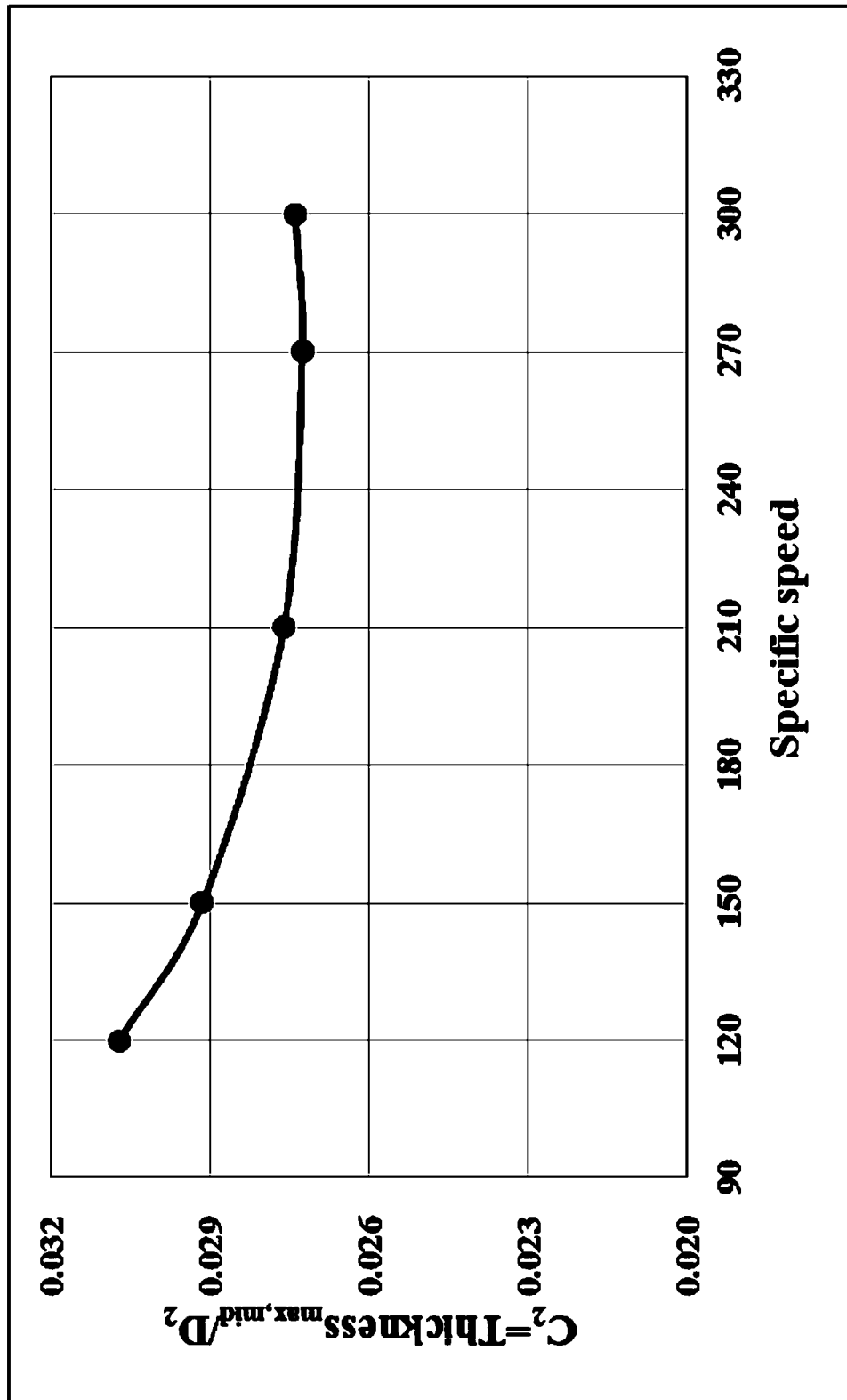
[도3]



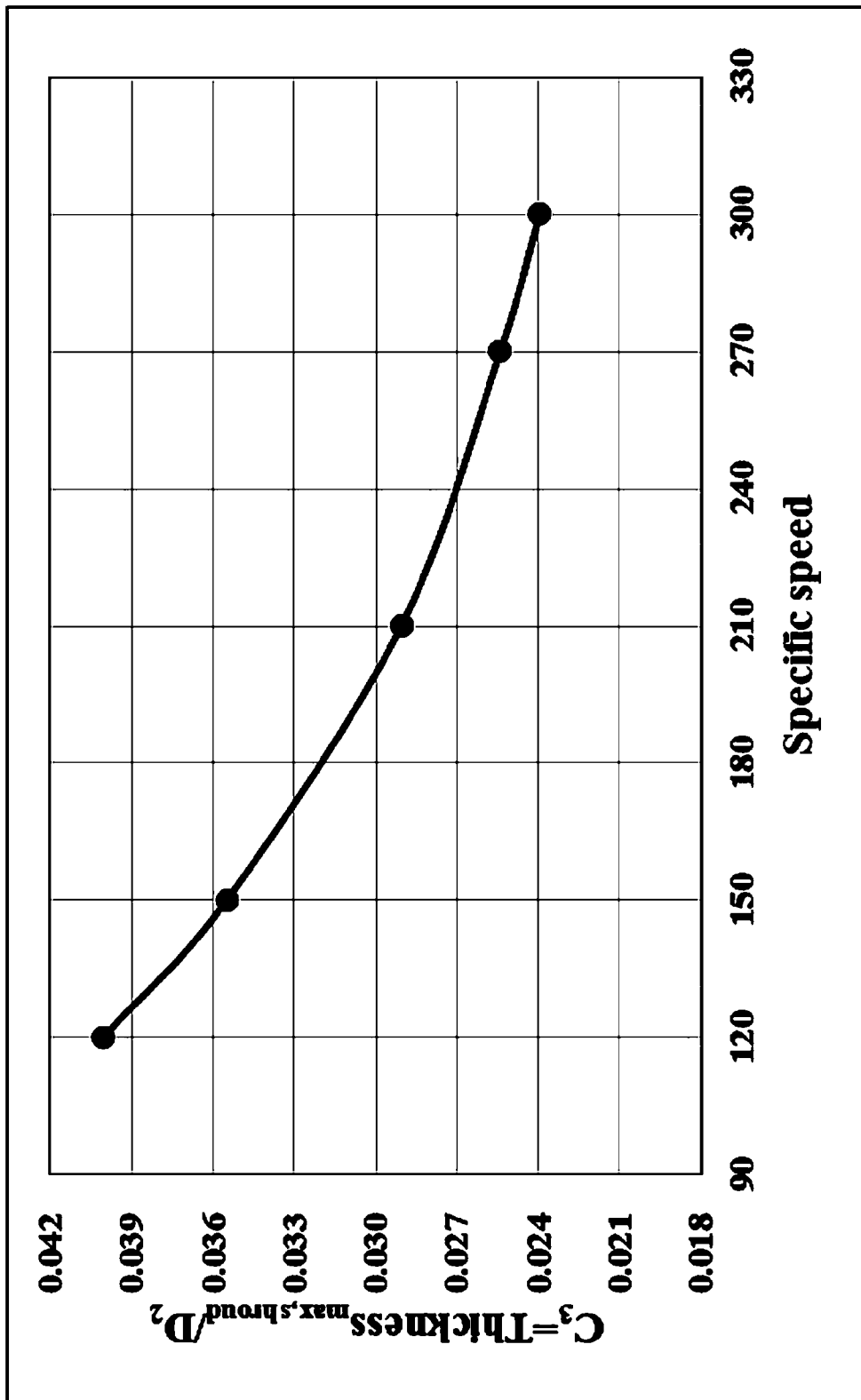
[도4]



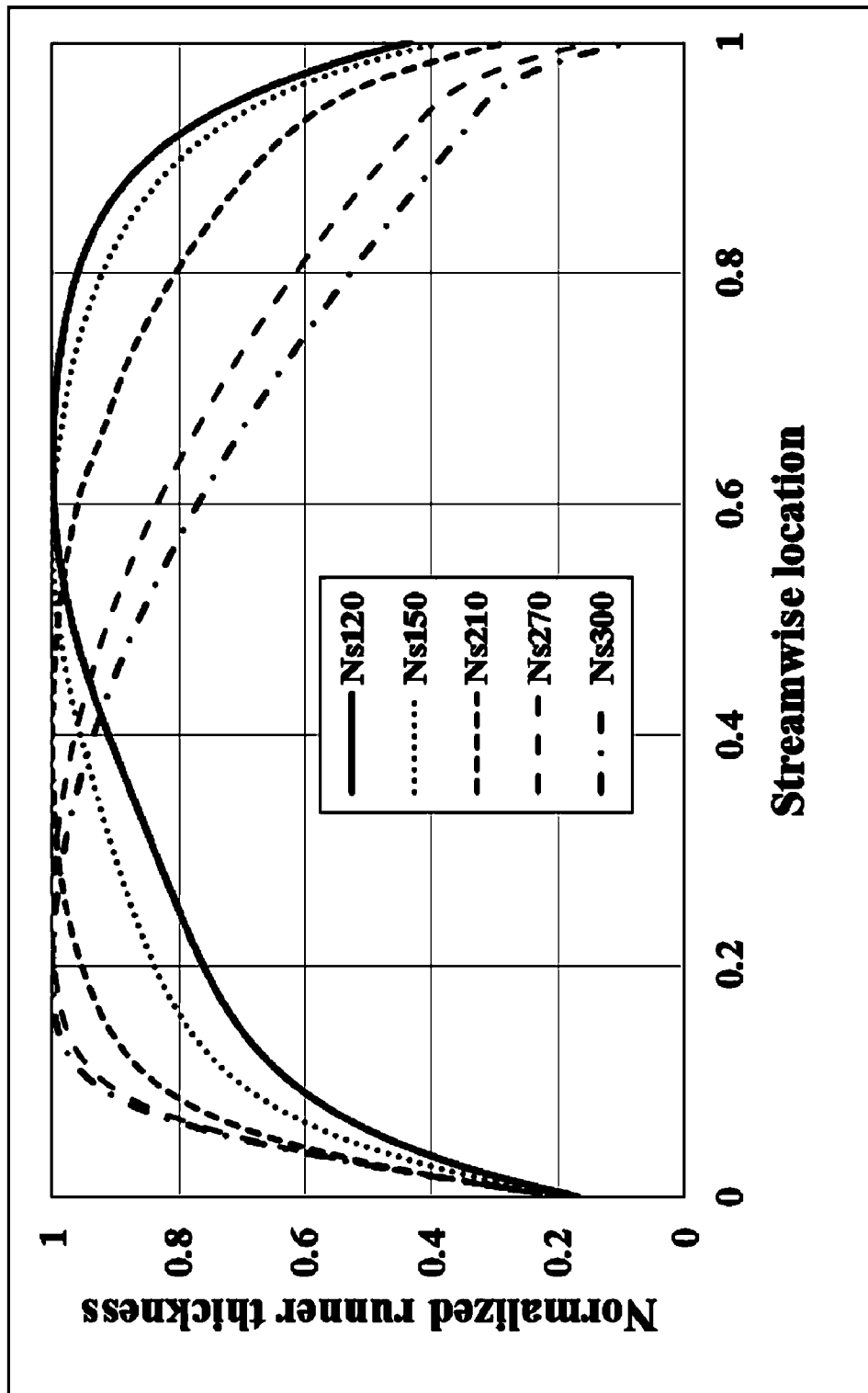
[도5]



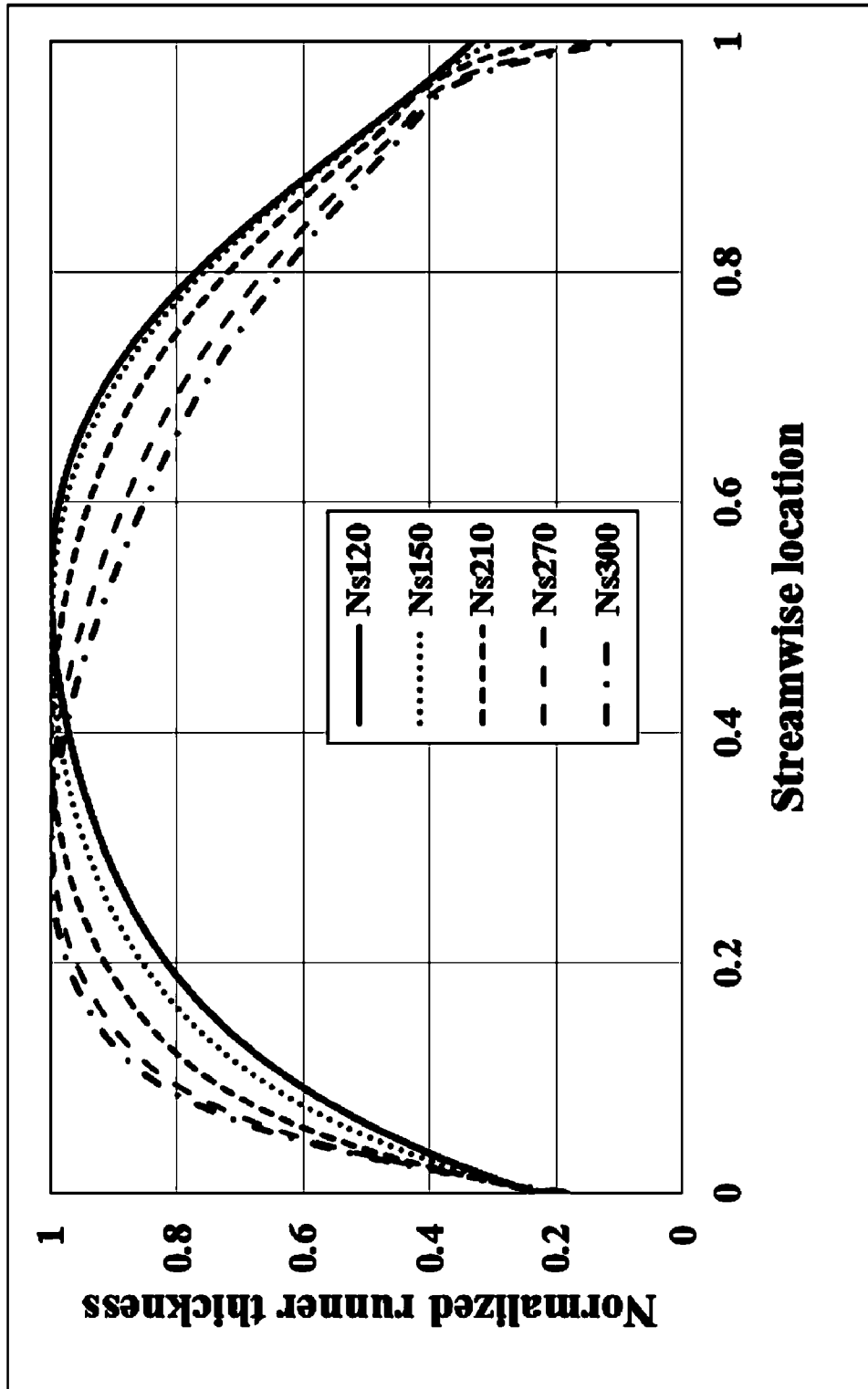
[도6]



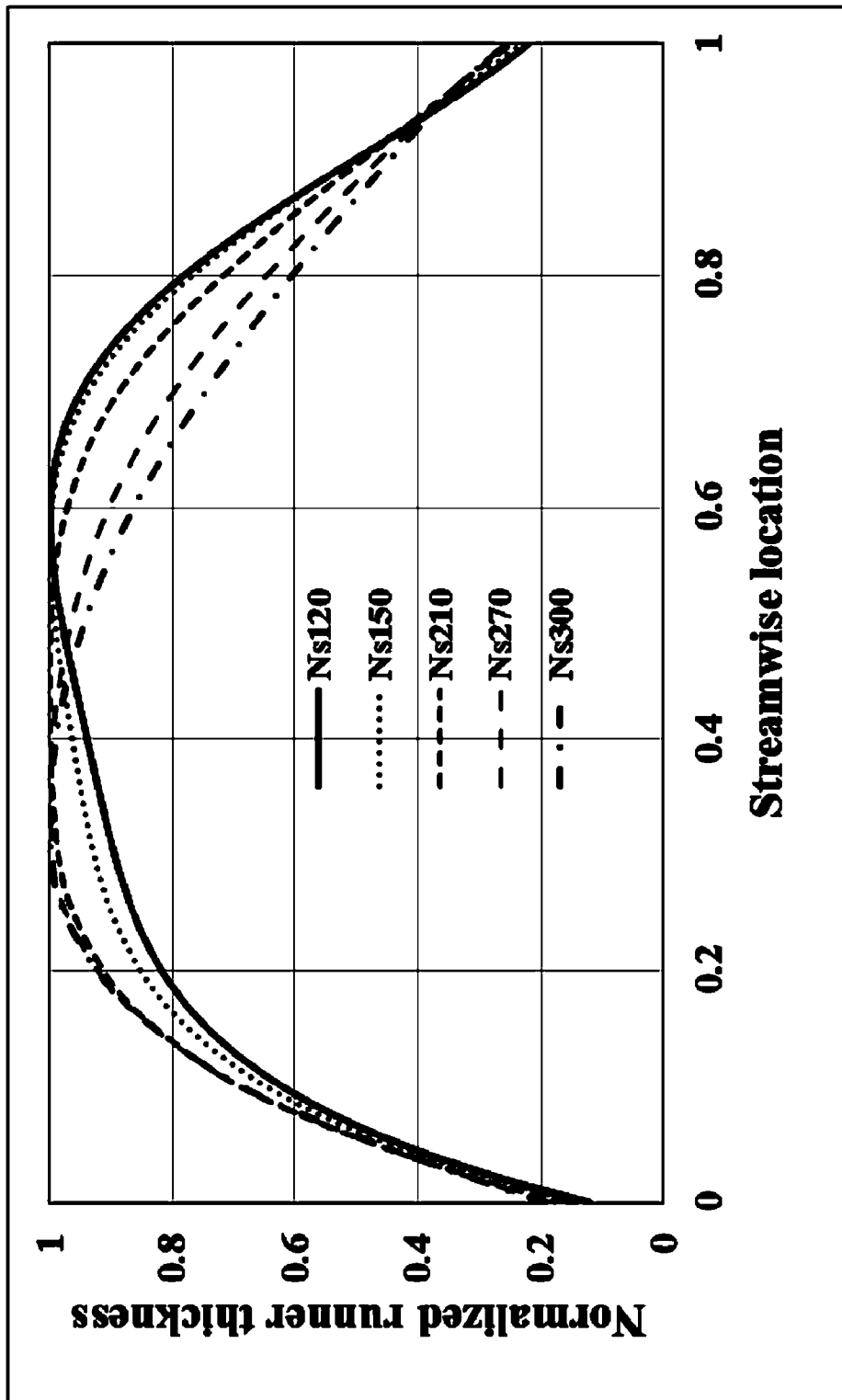
[도7]



[도8]



[도9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2024/095205

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06F 30/17(2020.01)i; F03B 3/12(2006.01)i; G06F 111/10(2020.01)i; G06F 111/04(2020.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G06F 30/17(2020.01); G06F 111/04(2020.01); G06F 17/50(2006.01); G06F 19/00(2011.01); G06F 30/00(2020.01); G06F 30/28(2020.01) Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models: IPC as above Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKOMPASS (KIPO internal) & keywords: 프란시스 수차(francis turbine), 설계(design), 러너(runner), 비속도(specific speed), 변수(parameter)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	KR 10-2012-0047613 A (IVAI INC.) 14 May 2012 (2012-05-14) See paragraphs [0014] and [0091]; and claims 1-5.	1-2,14 3-13
Y	CN 112528431 A (SICHUAN UNIVERSITY) 19 March 2021 (2021-03-19) See claim 2.	1-2,14
A	CN 107529643 A (XI'AN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 02 January 2018 (2018-01-02) See paragraphs [0045]-[0121]; claims 1-6; and figures 1-4.	1-14
A	CN 110610034 A (POWERCHINA HUADONG ENGINEERING CORPORATION LIMITED) 24 December 2019 (2019-12-24) See paragraphs [0053]-[0064]; claims 1-6; and figures 1-6.	1-14
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “D” document cited by the applicant in the international application “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 04 June 2024		Date of mailing of the international search report 04 June 2024
Name and mailing address of the ISA/KR Korean Intellectual Property Office Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsaro, Seo-gu, Daejeon 35208 Facsimile No. +82-42-481-8578		Authorized officer Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-2021-0002244 A (KOREA INSTITUTE OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY) 07 January 2021 (2021-01-07) See paragraphs [0029]-[0079]; claims 1-9; and figures 1, 4, 11 and 15.	1-14
PX	KR 10-2024-0018284 A (KOREA INSTITUTE OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY) 13 February 2024 (2024-02-13) See paragraphs [0045]-[0119]; claims 1-17; and figures 1-12.	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/KR2024/095205

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
KR	10-2012-0047613	A	14 May 2012	None			
CN	112528431	A	19 March 2021	CN	112528431	B	18 November 2022
CN	107529643	A	02 January 2018	CN	107529643	B	25 September 2018
CN	110610034	A	24 December 2019	CN	110610034	B	22 September 2023
KR	10-2021-0002244	A	07 January 2021	None			
KR	10-2024-0018284	A	13 February 2024	None			

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

G06F 30/17(2020.01)i; F03B 3/12(2006.01)i; G06F 111/10(2020.01)i; G06F 111/04(2020.01)j

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

G06F 30/17(2020.01); G06F 111/04(2020.01); G06F 17/50(2006.01); G06F 19/00(2011.01); G06F 30/00(2020.01); G06F 30/28(2020.01)

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC
일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 프란시스 수차(francis turbine), 설계(design), 러너(runner), 비속도(specific speed), 변수(parameter)

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
Y	KR 10-2012-0047613 A (주식회사 아이베이) 2012.05.14 단락 [0014], [0091]; 및 청구항 1-5	1-2,14
A		3-13
Y	CN 112528431 A (SICHUAN UNIVERSITY) 2021.03.19 청구항 2	1-2,14
A	CN 107529643 A (XI'AN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 2018.01.02 단락 [0045]-[0121]; 청구항 1-6; 및 도면 1-4	1-14
A	CN 110610034 A (POWERCHINA HUADONG ENGINEERING CORPORATION LIMITED) 2019.12.24 단락 [0053]-[0064]; 청구항 1-6; 및 도면 1-6	1-14
A	KR 10-2021-0002244 A (한국생산기술연구원) 2021.01.07 단락 [0029]-[0079]; 청구항 1-9; 및 도면 1, 4, 11, 15	1-14

☒ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

“A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

“D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌

“E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

“L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

“O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

“P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

“T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

“X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

“Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

“&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

국제조사의 실제 완료일

2024년06월04일(04.06.2024)

국제조사보고서 발송일

2024년06월04일(04.06.2024)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소

대한민국 특허청
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동,
정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관

양정록

전화번호 +82-42-481-5709

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-2012-0047613 A	2012/05/14	없음	
CN 112528431 A	2021/03/19	CN 112528431 B	2022/11/18
CN 107529643 A	2018/01/02	CN 107529643 B	2018/09/25
CN 110610034 A	2019/12/24	CN 110610034 B	2023/09/22
KR 10-2021-0002244 A	2021/01/07	없음	
KR 10-2024-0018284 A	2024/02/13	없음	