

로터리 제진기의 Rake에 대한 설계 및 구조강도해석에 관한 연구

노태정
동명대학교 메카트로닉스공학과

A study on design and structural strength analysis for the rake of rotary screeners

Tae-Jung Lho

Dept. of Mechatronics Eng., Tongmyong University

요약 로터리 제진기의 rake에 대한 설계 및 구조강도 해석을 수행하였다. 수중부의 경우 물에 의해 발생하는 수중 마찰력 및 협착물에 발생하는 수중 마찰력 등을 계산하여 하중조건을 주었고, 수상부는 rake의 자중 $239kg_f$ 를 분포 하중으로 설정한 후 협착물의 위치에 따라 협착물 하중 $261kg_f$ 을 좌측, 중앙, 우측 집중하중으로 나누어서 해석하였다. 3가지 하중조건에 대한 해석 결과는 최대 등가응력이 모두 $86MPa$ 이하이므로 3가지 하중조건 모두 소성변형이 발생하지 않고, 안전성이 있다고 판단되었다. 협착물의 무게와 물에 의한 마찰력에 따라 발생할 수 있는 하중에 대해 $1,000kg_f$, $1,300kg_f$, $1,500kg_f$ 3가지 하중으로 나누어서 해석하였다. $1,000kg_f$, $1,300kg_f$ 의 해석 결과의 경우 각각 $143.6MPa$, $186.6MPa$ 의 등가응력이 발생하였고 소성변형이 발생하지 않아 안전성이 있는 반면에, $1,500kg_f$ 의 경우는 $215.41MPa$ 의 등가응력이 발생하였고 소성변형이 발생하고 안전성이 없다고 해석되었다. ANSYS를 활용한 로터리 제진기의 rake에 가해지는 하중에 대한 구조강도 해석의 결과는 기본설계의 지침이 될 수 있었으며, 이 시제품의 기능 및 성능시험을 통하여 유한요소해석의 결과를 신뢰할 수 있었다.

Abstract This study examined the mechanical design and the structural strength analysis of the rake used in a rotary screener. For the case of the mid-water part, an additional load condition was given by calculating the underwater frictional force generated by the water. For the upper-water part, the analysis was done by dividing the 500kg additional load into the left-concentrated load, center-concentrated load, and right-concentrated load depending on the location of the attached narrow material, and it was determined that all 3 additional load conditions were free from plastic deformation and were secure. The additional load that can occur from the weight of the attached narrow material was divided into three, 1,000kg, 1,300kg, and 1,500kg, and then analyzed. The results of the analysis show that in the case of 1,000kg and 1,300kg, an equivalent strength of 143.6MPa and 186.6MPa occurred, respectively. These figures are lower than the yield strength of the STS304 used in the rotary screener. Therefore, plastic deformation does not occur and is considered to be secure. In the case of 1500kg, however, the equivalent strength that occurred was 215.41MPa, which is greater than the yield strength of STS304, and was judged to be unsafe.

Keywords : Deformation analysis, Rake, Rotary screener, Stress analysis, FEM

1. 서론

등에서 강물을 끌어 쓰기 위해서는 1차적으로 강에 있는 협착물을 걸러주는 역할이 필요하다.

펌프장 및 취수, 중계 펌프장, 발전소 냉각수 유입구

만약 강에 있는 협착물을 걸러주지 않는다면 협착물

이 논문은 2016학년도 동명대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.(2016F013)

*Corresponding Author : Tae-Jung Lho(Tongmyong Univ.)

Tel: +82-51-629-1533 email: tjlho@tu.ac.kr

Received September 5, 2016

Revised (1st October 11, 2016, 2nd November 3, 2016)

Accepted January 6, 2017

Published January 31, 2017

은 배수펌프장 및 발전소 냉각수 유입구 등으로 유입되어 모터나 펌프 등을 파손시킬 우려가 있다.

이러한 사태를 예방하기 위해 로터리 제진기를 설치하여 강에서부터 유입되는 대형 부유물 및 협착물을 걸러주어 제거하여야 한다.

Fig. 1은 실제 설치되어 있는 로터리 제진기의 모습이다. 로터리 제진기의 기능은 수로를 따라 유입되는 협착물을 걸러 수로 상부로 인양, 제거하여 협착물이 펌프의 임펠러에 유입되는 것을 차단시켜 펌프의 작동을 원활하게 하기 위함이다. 로터리 제진기는 모든 부품이 스테인리스가 사용되고 본 연구에는 STS304 재질이 사용되었다. 로터리제진기는 협착물을 상부로 인양하는 역할을 하는 rake, 협착물을 걸러주는 screen, 협착물의 탈락을 방지하는 상부 apron, 협착물을 잘라주는 cutter 4가지로 구성된다. 그 중에서 screen과 rake 부분은 로터리 제진기의 효율에 밀접한 관계가 있기 때문에 두 부분에 대한 연구와 개발이 필요하다.



Fig. 1. Rotary Screener operated really

D. W. Park은 보조 탄력부재를 이용한 로터리 회전 방식의 자동 제진장치의 동적 안전성 분석을 하였으며 [1], 로터리 회전방식 자동 제진장치의 시간영역 해석을 통해 레이크의 속도에 따른 하중을 계산하였다.[2]본 논문의 궁극적인 목적은 협착물의 무게와 위치에 따라 rake가 받는 하중 및 변형을 계산하여 최적의 rake를 설계하는 것으로서, rake가 수중부에서 받는 수중 마찰력 및 협착물의 높이에 따른 수중 마찰력에 따라서 rake가 받는 하중에 대한 해석을 진행하였다.

2. 설계에 대한 유한요소법 해석

로터리 제진기의 재질은 STS304를 사용하였고, 그 물성치는 Table 1과 같다.

Table 1. Material property of STS304

Density(kg/m^3)	8,000
Young's Modulus(GPa)	201
Poisson's Ratio	0.29
Tensile Yield Strength(MPa)	215
Compressive Yield Strength(MPa)	215
Tensile Ultimate Strength(MPa)	505

STS304의 특성은 Austenite계 기본강종으로 내식성, 내열성이 우수하고, 저온강도, 기계적 성질이 우수 하다. 주로 일반범용으로 식품설비, 일반 화학설비, 원자력용, 배관파이프 등에 사용된다.

2.1 Rake 부분에 대한 유한요소법 해석

Fig. 2에 나타난 3D modeling한 rake를 대상으로 해석을 진행하였다.

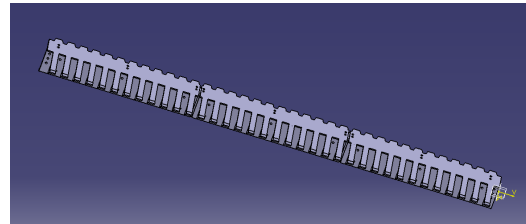


Fig. 2. Modeling of the Rake part

Fig. 3은 rake의 mesh작업 결과로서, 전체 node는 119,718개, 전체 element는 55,844 개이다. fixed support 조건은 Fig. 4와 같이 rake와 chain이 나사로 결합되는 부분을 지정하였고 하중조건은 집중하중 및 분포 하중으로 해석을 진행하였다.

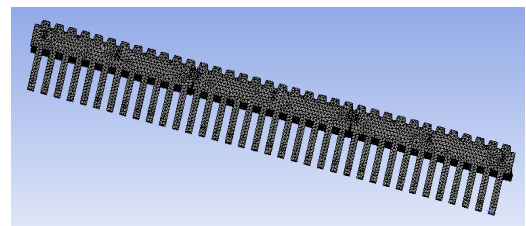


Fig. 3. Mesh generation

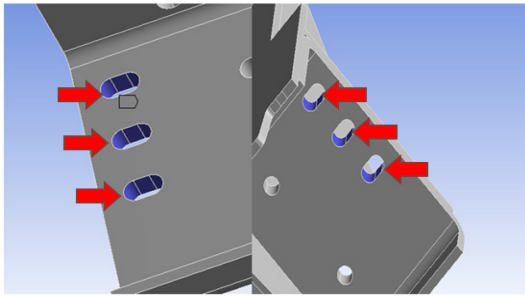


Fig. 4. Position of fixed support

2.1.1 집중하중 일 경우 rake 해석

rake 부분은 협착물을 끌어 올려주는 역할을 하고, 협착물의 위치에 따라 rake의 양 끝단 및 중심에만 작용하는 집중하중이 발생한다. Fig. 5는 집중하중이 작용하는 위치를 나타내었다. rake가 받는 하중은 rake의 자중 $239kg_f$ 과 협착물의 양에 따라 하중이 결정된다. 협착물의 무게 $261kg_f$ 가 가해졌을 경우, rake의 자중 $239kg_f$ 이 분포하중으로 작용하고, 협착물의 하중 $261kg_f$ 이 집중하중으로 작용되었다고 가정하였다.

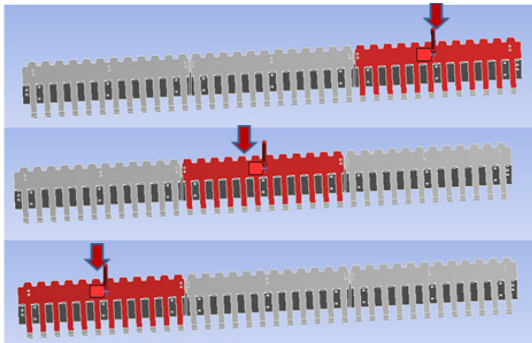


Fig. 5. Position of concentrated load

Fig. 6과 같이 우측 및 중앙 집중하중 일 경우 최대등가응력은 rake의 우측 나사부에서 각각 $78.078MPa$, $85.33MPa$ 이 발생하였다. 이 수치는 rake의 재질인 STS304의 항복강도 수치보다 낮으므로 탄성변형이 일어나는 것을 확인할 수 있다.

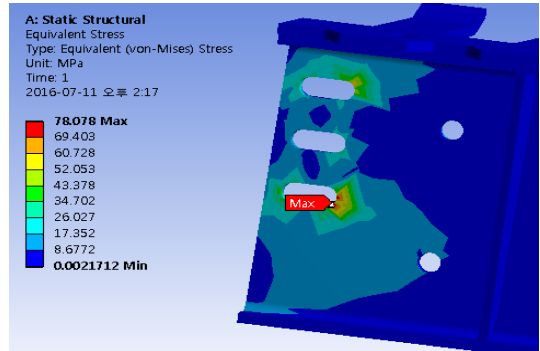


Fig. 6. Position where maximum stress is generated

Fig. 7과 같이 좌측 집중하중일 경우 최대등가응력은 $70.486MPa$ 이 발생하였고 rake의 나사부에서 발생하였다. 이 수치는 rake의 재질인 STS304의 항복강도 수치보다 낮으므로 탄성변형이 일어나는 것을 확인할 수 있다.

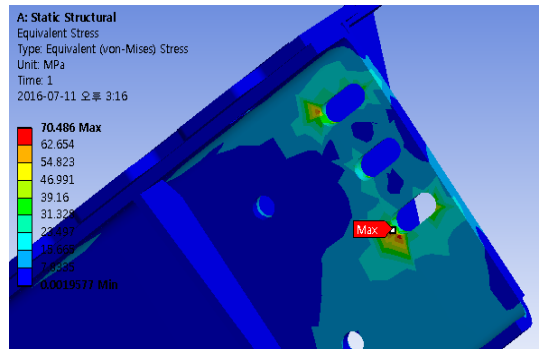


Fig. 7. Position where maximum stress is generated

Table 2에서 볼 수 있듯이 최대 응력은 3가지 조건 모두 STS304 재질의 항복강도 보다 낮은 수치로서 탄성 변형이 발생한다.

Table 2. Analysis results of stress and deformation

weight of adulterated thing $500kg_f$	right	left	center
maximum stress(MPa)	78.08	70.49	85.33
maximum deformation(mm)	0.86	0.86	1.33

2.1.2 협착물의 무게에 따른 rake 해석

rake에 작용하는 하중 조건은 수상부에서의 협착물 무게와 rake의 자중을 더한 $1,000kg_f$, 그리고 수중부에

서의 작용하는 하중에 대한 해석을 진행하였다. Fig. 8은 rake가 받는 분포하중의 조건을 나타낸다.

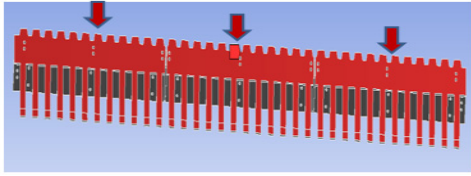


Fig. 8. Position of distributed load

수중부에서 작용하는 하중에 대한 공식은 (1)과 같다.

$$F_{1X} = P_s \times h \times B_r \times \mu_1 \quad (1)$$

여기서 F_{1X} 는 수중부 협잡물의 마찰저항력, P_s 는 수압 ($=1,000kg/m^2$), h 는 협잡물의 높이($=0.4m$), B_r 는 레이크 폭($=3.243m$), μ_1 는 스크린과 협잡물의 마찰계수 ($=0.7$) 이다.

각 항에 수치를 대입하면 $1,139.04kg_f$ 의 결과값이 나온다. $1,139.04kg_f$ 에 안전성위해 $1,300kg_f$ 으로 가정하여 해석을 진행하고, rake가 최대로 버티는 하중을 알아보기 위해 $1,500kg_f$ 의 하중을 가해 해석을 진행하였다.

Fig. 9는 rake에 $1,000kg_f$ 의 하중이 작용할 경우의 응력분포 결과이다. rake의 양 끝을 제외한 부분은 거의 하중을 받지 않았다.

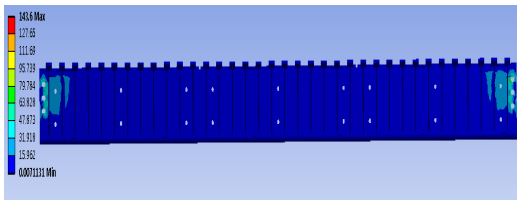


Fig. 9. Stress distribution result under load of $1,000kg_f$

Fig. 10은 rake에 $1,000kg_f$ 의 하중이 작용했을 경우 최대 등가응력이 발생하는 위치를 나타낸다. Fig. 10과 같이 최대 등가응력은 rake와 chain이 연결되는 나사부에서 $143.6MPa$ 이 발생하였다. 이 수치는 rake의 재질인 STS304의 항복강도 수치보다 낮으므로 탄성변형이 일어나는 것을 확인할 수 있다.

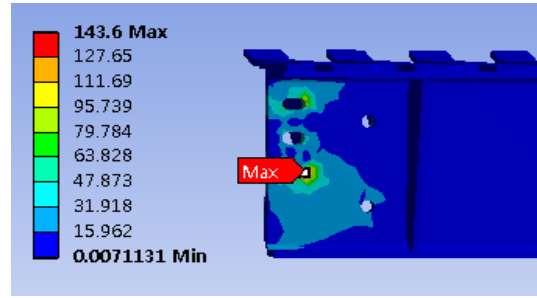


Fig. 10. Maximum stress result under load of $1,000kg_f$

Fig. 11은 rake에 $1,000kg_f$ 의 하중이 작용할 때의 변형 결과이다. 탄성변형으로 가장 변형이 많이 발생하는 위치는 rake 중간 갈퀴 끝으로 $2.01mm$ 가 발생하였다.

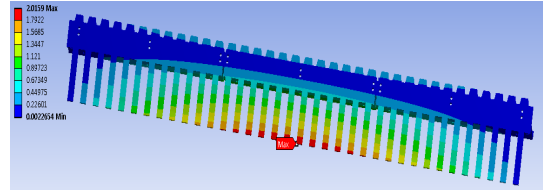


Fig. 11. Deformation analysis result under load of $1,000kg_f$

Fig. 12는 rake에 $1,300kg_f$ 의 하중이 작용했을 경우의 응력 결과이다. rake의 양 끝을 제외한 나머지는 거의 하중을 받지 않고, rake에 $1,000kg_f$ 의 하중을 가했을 경우와 비교하면 rake의 양 끝 단에서 발생하는 하중의 분포가 넓어진 것을 확인할 수 있다.

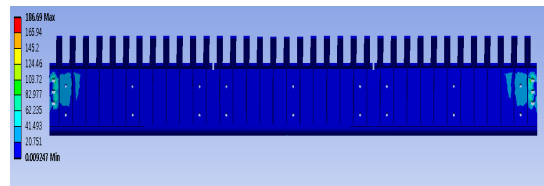


Fig. 12. Stress distribution result under load of $1,300kg_f$

Fig. 13은 rake에 $1,300kg_f$ 의 하중이 작용했을 경우 최대 등가응력이 발생하는 위치를 나타낸다. Fig. 13과 같이 최대 등가응력은 rake와 chain이 연결되는 나사부에서 $186.6MPa$ 이 발생하였다. 이 수치는 rake의 재질인 STS304의 항복강도 수치보다 낮으므로 탄성변형이 일어나는 것을 확인할 수 있다.

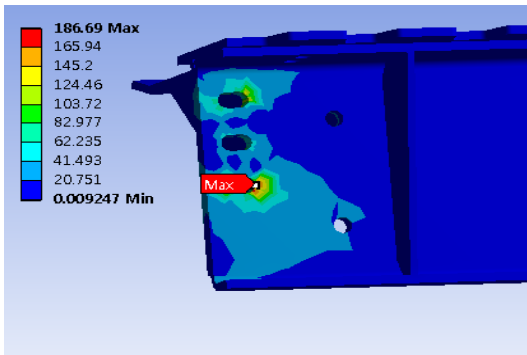


Fig. 13. Maximum stress result under load of 1,300kg_f

Fig. 14는 rake에 1,300kg_f의 하중이 작용할 때의 변형 결과이다. 탄성변형으로 변형이 가장 많이 발생하는 위치는 rake 중간 갈퀴 끝으로 2.6mm가 발생하였다.

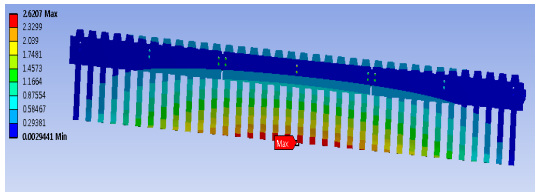


Fig. 14. Deformation analysis result under load of 1,300kg_f

Fig. 15는 rake 에 1,500kg_f의 하중이 작용할 때의 응력 결과 이다. 협착물 1,300kg_f이 작용할 때와 비교하면 양 끝 부분이 받는 하중의 넓어진 것을 확인할 수 있다.

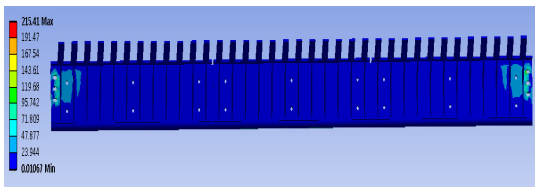


Fig. 15. Stress distribution result under load of 1,500kg_f

Fig. 16은 rake에 1,500kg_f의 하중이 작용 했을 경우의 최대 등가응력이 발생하는 위치이다. 최대 등가응력은 215.41MPa이 발생하고, 이 수치는 STS304의 항복강도 수치보다 높으므로 협착물 1,500kg_f일 경우 rake는 버티지 못하며 소성변형이 발생한다.

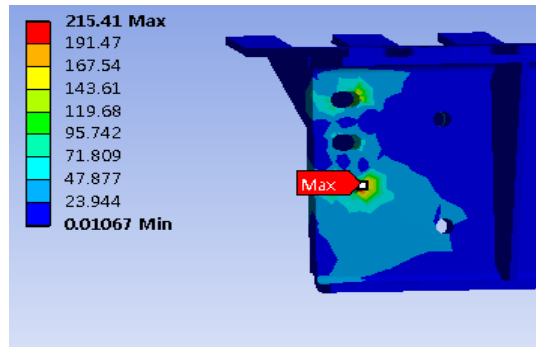


Fig. 16. Maximum stress result under load of 1,500kg_f

Fig. 17은 rake에 1,500kg_f의 하중이 작용했을 경우의 변형이다. 최대 변형은 3.02mm가 발생하며 등가응력 해석상 소성변형이 발생한다.

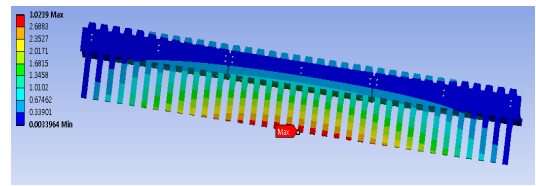


Fig. 17. Deformation analysis result under load of 1,500kg_f

Table 3은 최대응력 및 변형에 대한 해석 결과를 나타내었으며, 1,000kg_f의 하중조건, 수중부에서 협착물의 높이가 0.4m로 가정했을 때의 하중 1,300kg_f이 가해졌을 경우 탄성변형이 발생하고 안전성이 있으나, 1,500kg_f의 하중이 가해졌을 경우 소성변형이 발생하고 안전성이 없다고 판단된다.

Table 3. Analysis results of stress and deformation

	1,000kg _f	1,300kg _f	1,500kg _f
Maximum stress(MPa)	143.6	186.6	215.4
Maximum deformation(mm)	2.01	2.6	3.02

Fig. 18 은 본 논문의 해석을 바탕으로 제작된 로터리 제진기에 설치되어 있는 rake의 모습이며, 이 시제품의 기능 및 성능시험을 통하여 유한요소해석의 결과를 신뢰할 수 있었다.

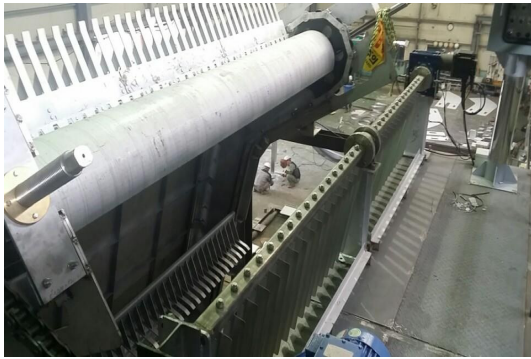


Fig. 18. Prototype of the rake developed

3. 결론

로터리 제진기의 rake에 가해지는 분포 하중 및 집중 하중에 대한 설계 및 구조강도 해석에 관한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. rake의 자중에 협착물에 의한 하중 261 kg_f 이 좌측, 중앙, 우측 의 위치에 집중 하중으로 작용할 경우 각각 70.486MPa , 85.53MPa , 78.078MPa 의 등가응력이 발생하고, 이 수치는 rake의 재료의 항복강도 보다 낮은 값이며 하중조건에 대해 안전성이 있다.
2. rake에 협착물에 의한 하중 $1,000\text{kg}_f$, $1,300\text{kg}_f$ 이 균등분포하중으로 작용할 경우 등가응력은 각각 143.6MPa , 186.6MPa 의 등가응력이 발생 하고 이 수치는 rake의 재료의 항복강도 보다 낮은 수치이며 하중조건에 대해 안전성이 있었다.
3. rake에 협착물에 의한 하중 $1,500\text{kg}_f$ 이 균등분포 하중으로 작용할 경우 등가응력은 215.41MPa 이 발생하여 소성변형이 발생하고, 안전성이 없었다.
4. ANSYS를 활용한 로터리 제진기의 rake에 가해지는 하중에 대한 구조강도 해석의 결과는 기본설계의 지침이 될 수 있었다.

References

- [1] D. W. Park. "The Dynamic Safety Analysis of the Rotary Circulating Type Automatic Screener using the

Auxiliary Elastic Member", *Proc. of 2013 KSME Spring Conference*, pp. 2634-2639, 2012.

- [2] D. W. Park, "The Dynamic Structural Safety Analysis in Time Domain of the Automatic Rotary Circulating Type Screener", *Trans. of The Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, pp. 447-449, 2013.
- [3] B. H. Choi and S. Y. Choi, "Analytical method of flexural ductility of press-braked steel plate members", *Proc. of 2012 KAIS Spring Conference*, pp. 631-633, 2012.
- [4] Y. S. Lee, K. H. Shin, S. K. Cheong, U. H. Choi and Y. K. Kim, "Utilization of Finite Element Analysis in Design and Performance Evaluation of CFRP Bicycle Frames", *Trans. KSME A*, Vol.37, No.1, pp. 121-127, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/ksme-a.2013.37.1.121>

노 태 정(Tae-Jung Lho)

[정회원]



- 1984년 2월 : 부산대 기계설계학과 (공학학사)
- 1986년 2월 : KAIST 생산공학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : KAIST 정밀기계공학과 (공학박사)
- 1986년 2월 ~ 1999년 2월 : 삼성중공업 기전연구소(수석연구원)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 교수

<관심분야>

Mechatronics, Robotics, 기계 제어, 자동화 등