

치차형 스크린의 선별 성능 향상을 위한 동적 해석과 설계 형상 변경

김 광 훈*, 박 정 홍*, 문 병 영†, 박 용 기**
군산대학교, *부산대학교 기계기술연구소, ** (주)거산기계

Dynamic Analysis and Design of Star Screen in Recycling Construction Plant

Kwang-Hoon Kim*, Jung-Hong Park*, Byung-Young Moon†, Yong-Ki Park**
Dep't of Naval Architecture, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea
*RIMT, Pusan National University, Busan 609-735, Korea
**Keossan Machinery Co., LTD, Gimhae 500-700, Korea

(Received December 5, 2009; revision received January 28, 2010)

ABSTRACT: Recycling issue for the construction wastes is gradually important to future society. Recently, a star screen has been developed to use for this purpose, however some modifications were needed to enhance the separation accuracy. The objective of study is to evaluate and predict separation ability by verifying the effect for the modified shapes of the screen part. Two analysis models of the screen part were established using commercial software ADAMS to simulate the dynamic interaction of waste particles. Results showed that spacer and gear shapes directly affected separation ability. The modified spacer shapes were much higher screening rate with comparison to default shape. Screening ability for the half number of gear type was greater than other types. Therefore, modification of the design of screen part will be required to achieve better separation ability.

Key words: Star screen(치차형 스크린), Gear shape(치차 형상), Spacer shape(스페이서 형상), Dynamic modeling(동적모델링), Separation Ability(선별성능)

1. 서 론

건설 폐기물이나 산업용 골재를 선별하는 장치를 선별기(screen)라고 하며 재활용 과정에 따라 다양한 선별기가 산업현장에서 사용되고 있다. 그중 현재 국내에서 건설폐기물의 처리에 주로 많이 사용되는 선별기는 진동식 선별기(vibrating screen)^(1,2)이다.

그리고 최근에는 치차형 선별기(Star-screen)를 개발하여 이를 이용한 골재의 선별도 진행되고 있다.

치차형 선별기는 기존의 판이나 채 거름 방식이 아니라 치차를 이용하여 선별하는 방식이다. 치차를 회전시켜 이물질들을 강제적으로 분리시키는 방식이기 때문에 물기가 많은 고함수율 골재에 대해서도 강제적 선별이 가능하다는 장점이 있다. 이러한 장점이 존재하기 때문에 골재 재활용 업계에서 치차형 선별기의 수요가 점차 발생하고 있다. 국외에서는 이미 산업폐기물의 선별을 위한 다양한 기구의 설계나 설비의 개발에 관한 연구를 수행하고 있다^(3,5). 하지만 국내에서는 다른 형태의 선별기를 개발한 경험이 부족한 실정이다.

한편, 선별기를 개발함에 있어 선별기의 주요 기능을 나타낼 수 있는 지표로는 단위시간당 생산량,

† Corresponding author
Tel.: +82-63-469-1854; fax: +82-63-469-1851
E-mail address: moonby20@gmail.com

그리고 선별크기의 분리능능이 일차적으로 매우 중요하다. 현재 국내에서 건설폐기물 선별기로 개발되고 있는 치차형 선별기는 Fig. 1과 같은 톱니바퀴 형태의 치차가 회전하면서 선별크기보다 큰 이물질은 치차의 날을 이용하여 앞쪽으로 이송하고 그보다 작은 입자는 아래로 낙하하게 함으로써 골재를 선별한다.

하지만 채와 같이 정해진 크기의 망이 일정한 형태의 망이 아니기 때문에 선별 크기가 채 거름 방식에 비해서는 정확도가 낮다. 예를 들어, 채를 이용해 목표 크기를 5mm로 정하여 그 이상의 크기에 해당하는 이물질이나 골재를 걸러낸다고 했을 때 채 거름을 하면 정확히 5mm 이상의 골재가 걸러진다. 그러나 치차형 선별기를 이용하여 선별하였을 때는 목표 크기를 5mm 정하여 망을 설계한 경우에도 5mm 이상의 굵은 입자들도 선별되지 않고 섞이게 된다. 즉, 채 거름 방식에 비해서는 선별 정확도가 낮게 된다.

이러한 이유는 본 연구에 앞서 수행된 치차형 스크린 모델 구축과 시뮬레이션 결과로부터 확인할 수 있었다. Fig. 2의 그림은 치차형 스크린에서 목표 크기보다 큰 입자가 걸러지지 못하게 되는 대표적인 경우를 나타내고 있다. 목표한 크기보다 큰 입자들은 Fig. 2의 A지점으로 흘러내려올 경우에 오

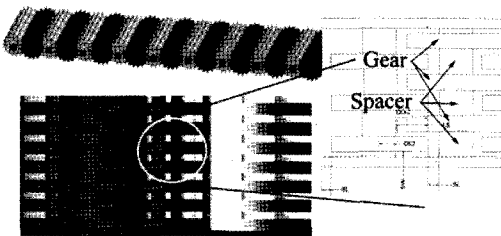


Fig. 1 A star-screen model using ADAMS.

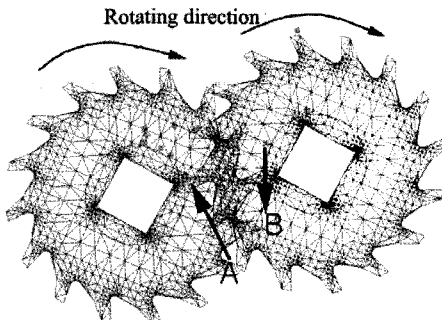


Fig. 2 An example of separation process.

른쪽 치차가 입자를 들어 올리지 못하는 위치에 있게 될 경우 그 입자가 아래로 빠지게 되며, B지점의 입자들도 자중에 의해 치차 사이로 흘러내려 빠져나가고 왼쪽 치차 역시 회전방향이 시계방향이므로 B에 떨어지는 입자의 배출을 돕기 때문이다. 치차형 선별기의 분리 능능이 떨어지는 주된 원인이 이와 같은 현상에 기인하였다. 이에 치차형 선별기의 분리능능을 높이기 위해서는 치차부의 설계를 개선하는 것이 우선적으로 필요함을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 개발중인 치차형 스크린의 선별 능능을 향상시키기 위하여 치차부를 구성하고 있는 스페이스(spacer)와 치차(gear)의 형상을 해석 대상으로 선정하였으며 이들 설계 형상이 분리 능능에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통하여 예측하고자 하였다.

2. 연구 방법

치차형 스크린의 치차부는 생산용량에 따라 망면적을 크게 또는 작게 설계하고 제작할 수 있으며 그에 따라 치차의 개수와 스페이스의 개수는 달라질 수 있다. 그러나 치차부를 이루고 있는 단위 요소를 나누면 두 개의 치차와 중간에 하나의 스페이스가 연결되어 있는 형태를 최소 단위로 볼 수 있다. 본 연구에서는 스페이스의 형상 변경에 따른 선별 효과를 예측하기 위하여 이 단위 요소 모델을 이용하여 해석을 수행하였다. 그리고 치차의 형상에 따른 해석을 위해서는 입자의 이동 궤적이 중요하다고 판단되어 8열의 치차모델을 사용하였다. 시뮬레이션 순서는 우선, 단위 모델에 대한 모델링과 이에 대한 가정을 제시하고 스페이스 형상을 변경하였다. 스페이스는 기존의 원형 스페이스에 톱니형상 및 별 모양의 형상에 대한 효과를 알아보았고 치차는 이(gear)의 개수와 깊이를 변수로 하여 선별 효과를 시뮬레이션하였다.

2.1 기본 모델링 및 가정

치차부의 모델링과 해석은 상용 해석 프로그램인 ADAMS(version 2005, USA)⁽⁶⁾를 사용하였다. 치차부를 구성하는 치차와 스페이스의 형상은 CAD에서 형상 및 치수를 결정하고 이후 결과 파일을 parasolid(.x_t) 파일로 변환하여 ADAMS에 입력하였다.

해석에서 설정한 기본 모델은 목표선별 크기를4

mm로 하였고 이때 치차 두께는 16 mm, 치차와 치차 사이 공간은 5 mm, 스페이서의 두께는 26 mm로 설정하였다. 개발중인 선별기는 실제로 1열당 34개의 치차를 가지며 총 18열을 가지도록 설계 되어있다.

치차의 회전 속도는 120 rpm으로 설정하였고 투입 입자의 크기는 10 mm로 설정하였다. 기존 선별기에서 10 mm의 크기를 가지는 입자는 over size로 선별되지 못하고 쉽게 선별목표 입자보다 under size에 포함되기 쉬운 크기이다.

현재 구현된 모델의 입자는 개별적으로 치차면과 접촉하여 튀어 나오거나 구르도록 접촉정을 하였다(정적 마찰계수 0.3, 동적 마찰 계수 0.1). 그리고 투입입자가 밖으로 빠져나가지 않도록 평면을 구성하여 접촉을 정의함으로써 입자가 정해진 공간안에서만 움직일 수 있도록 하였다.

선별 성능은 현재 산업계의 기준이 없고 자체적인 설비 하나만으로 정의하기 어렵다. 그리고 선별기에 투입되는 입자는 수없이 많은 알갱이뿐 아니라 형태와 질량이 다양하기 때문에 많은 수의 입자에 대해 선별 현상을 재현하고 모델링하는 데에는 한계가 있다. 그래서 단순화 하거나 투입되는 입자의 개수를 제한하여 대표적인 입자의 거동을 예측하여 해석할 수밖에 없다. 따라서 본 해석에서는 선별기의 선별 성능을 알아보기 위해 투입 입자의 개수를 제한하고, 치차의 회전 속도 등을 미리 설정한 상태에서 투입 입자의 개수에 대해 선별된 입자의 개수의 비율로 선별 성능을 계산하였다. 그리고 이에 따라 스페이서 형상과 치차 형상 변경의 결과를 비교하였다.

2.2 스페이서 형상 변경

Fig. 2의 경우와 같이 선행 시뮬레이션 결과로부터 얻은 결과를 바탕으로 목표선별 입자크기보다 약간 큰 크기의 입자는 쉽게 스페이서의 면을 따라 아래로 배출될 수 있었다. 그 이유는 스페이서의 중심을 기준으로 왼쪽면은 왼편에 위치한 치차의 회

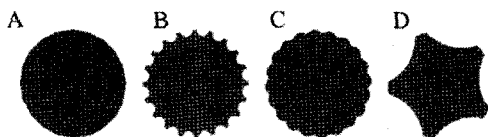


Fig. 3 Four types of spacer(A : default type, B, C : saw type, D : star type).

전방향인 입자를 배출하도록 돕는 역할을 하기 때문에 왼쪽면이 매끄러우면 기존 형상처럼 낙하되지 말아야 할 크기의 입자가 아래로 배출되게 된다.

반면, 스페이서의 오른쪽면에 입자가 위치하면 우편의 회전하는 치차가 배출되려고 하는 입자를 쳐 올림으로써 아래로 빠져나가는 것을 막는다. 따라서 선별목표 크기보다 약간 큰 크기를 가지는 입자가 스페이서의 오른쪽면으로 이동되도록 스페이서의 형태를 설계하였다.

제안된 스페이서의 형태는 Fig. 3과 같이 3가지로 고안하였다. Type A는 기존 선별기에 사용되는 원통형태의 스페이서이며 Type B~D는 본 해석에서 사용된 개선된 형태의 스페이서 형태이다. 새로이 설계한 3가지 형태의 스페이서의 효과를 알아보기 위하여 10 mm 크기의 구형 입자 20개를 스페이서의 좌측면에 낙하하였다. 그리고 회전에 의한 선별후 아래로 배출된 입자의 수를 세어 그 효과를 평가하였다.

2.3 치차 형상 변경

기존 해석 모델에서 스페이서 사이로 선별되는 over size 입자, 즉 선별 목표 크기보다 큰 입자이지만 스크린에서 이물질로 배출되지 못하고 망 아래로 빠지는 입자가 선별 성능을 저하시키는 원인이었다. 그렇기 때문에 스페이서의 형상을 우선적으로 변경함으로써 선별의 정확도를 높일 수 있도록 하고자 하였다. 그리고 또 한편으로 Fig. 2에서 B 위치로 떨어지는 입자는 치차의 골(깊이) 안으로 유입되게 되고 치차는 이러한 입자를 배출시키는 방향으로 회전하고 있기 때문에 이 골 안으로 들어온 모든 입자는 모두 배출되게 된다. 이러한 현상을 생각해 볼 때 치차의 깊이와 같은 형상이 폐골자개의 재활용을 위한 선별능력에 영향을 미칠 수 있다. 그리하여 본 연구에서 치차의 형상이 선별

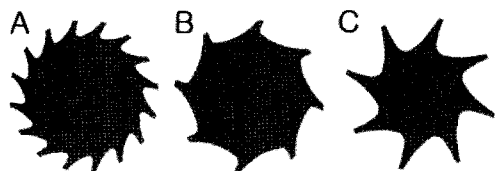


Fig. 4 Three types of gear(A : default type, B : half number of gear teeth, C : half number and double depth of gear teeth).

성능에 어떠한 영향을 미치는지 확인할 필요가 있어 치차 형상에 따른 선별 효과를 해석하였다.

Fig. 4는 본 연구에서 사용한 3가지 형상을 나타내었다. 치차는 앞서 기술한 바와 같이 치차의 잇수와 깊이가 스크린 성능을 나타내는데 중요한 역할을 하는 인자이므로 이 두 가지를 고려하여 모델링하였다.

치차의 Type A는 선행연구에서 제시된 모델로 비교를 위한 기준 모델로 선택하였다. Type B는 기준 모델인 Type A에 대해 잇수가 절반이며 최고 깊이가 동일한 모델이고, Type C는 Type A 잇수의 절반이며 최고 깊이가 두 배인 모델이다.

치차 형상에 따른 효과를 알아보기 위하여 20 mm 크기의 구형 입자 20개를 시작하는 첫 번째 열의 치차에 투입하였다. 치차에 투입할 때 입자의 크기가 너무 작으면 쉽게 배출될 수 있기 때문에 스페이서의 경우보다 큰 20 mm 크기로 설정하여 그 효과를 알아보고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 스페이서 형상에 따른 입자 배출

Fig. 5에 스페이서 형상별로 입자의 배출 결과를 나타내었다. 최초 투입되는 입자들은 스페이서 좌측 상단면으로 낙하하고 회전하고 있는 스페이서와

치차면과 만나 입자들이 이동한다. 실선으로 표현된 것은 각 입자가 이동하는 궤적을 보여주며 아래로 투입된 입자가 많이 배출될수록 선별 능력이 떨어진 것으로 평가할 수 있다. 해석 결과 기준 모델에 해당하는 Type A가 10 mm 입자를 90% 배출한 데 비하여 Type B, C, D가 각각 45, 30, 30%만 배출시킴으로써 개선된 형태의 선별성능의 향상에 크게 기여하고 있음을 볼 수 있었다.

Type B~D 모두 스페이서가 배출 가능성이 있는 입자를 오른쪽면으로 이송하는데 매우 효과적이었으며 이를 통해 입자의 배출을 막을 수 있었다. Type B가 Type C와 D에 비해 몇 개의 입자가 더 배출된 것은 스페이서 홈의 형태가 입자의 형태와 맞물려 스페이서 홈 안으로 유입된 입자가 오른쪽면에서도 계속 홈 안에 있는 현상이 발생하여 배출된 경우가 있었기 때문이다. 이 때문에 홈의 형상이 상대적으로 완만한 Type C와 D에서 배출되는 입자의 개수가 더 적었다.

본 해석은 실제와 같이 무수히 많은 수의 입자들로 혼합된 경우를 해석하지 않았다. 목표 선별 크기 이하의 입자는 모두 배출되는 것으로 가정하였으며 목표선별 크기에 비해 매우 큰 입자의 이물질은 치차에 의해 모두 선별되기 때문에 그 중간에 해당하는 입자(10 mm)에 대한 해석만 고려하였다. 시뮬레이션의 한계점과 무수히 많은 입자, 그리고

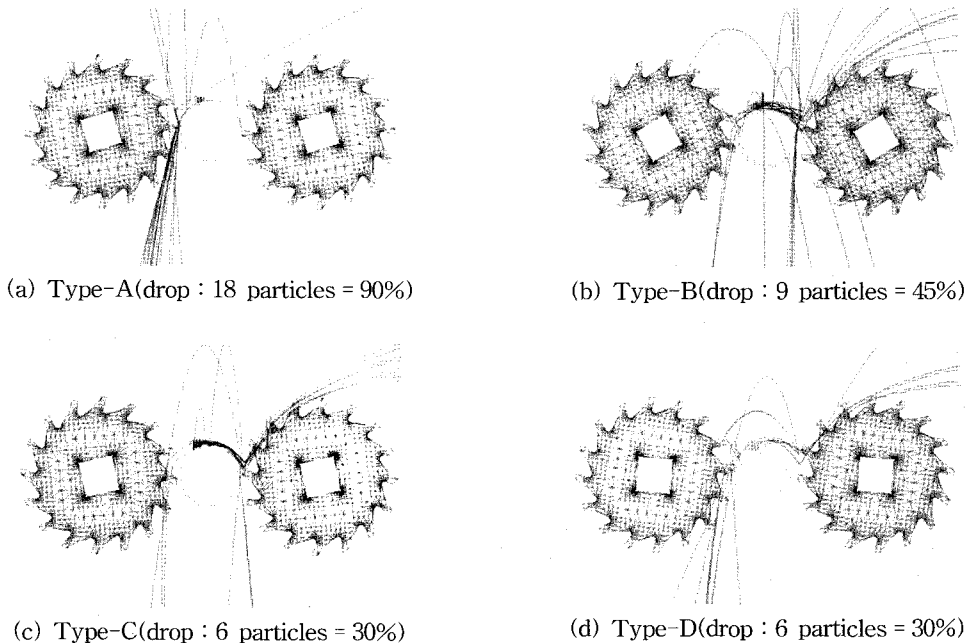


Fig. 5 Simulation results for the spacer shapes.

다양한 입자의 크기와 조건을 고려하지 않았기 때문에 연구의 제한성이 존재하지만 본 연구에서는 스페이서 형상의 개선이 10 mm 입자의 배출을 막는데 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

3.2 치차 형상에 따른 입자 배출

치차 형상에 따른 각 모델별 선별 성능을 평가하기 위해 동일 시간동안 치열의 아래로 떨어지는 갯수를 비교하였다. 치차 형상 해석의 경우 가장 이상

적인 결과는 요구입자 크기보다 시뮬레이션 입자 모델이 크기 때문에 모든 입자가 그대로 치열의 윗부분에 존재하는 것이다. Fig. 6은 2초 동안 입자들의 운동을 궤적으로 표현한 것이다. 좌측 상단의 끝부분은 치열이 없는 곳으로 구분된 것으로 판단하여 치열 하단에 떨어진 입자 갯수에는 포함하지 않았다.

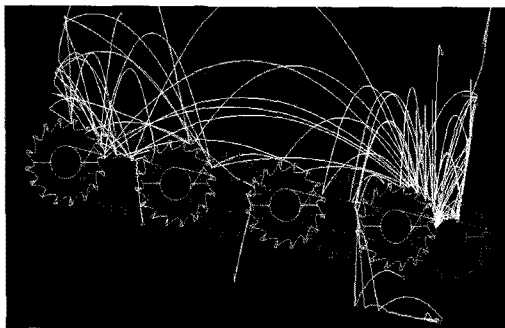
각 모델의 떨어진 입자의 개수는 Type A, B, C 각각의 순서대로 5개, 3개, 7개였다. 치차의 형상의 경우 입자와 만나는 각 도면에서 보면 Type A와 C가 비슷하며 Type B의 경우는 그에 비해 상당히 완만한 형상을 보였다. 실제 선별기의 성능을 평가할 때에는 선별성과 단위시간당 처리할 수 있는 물량을 고려해야 한다. 이러한 사실을 고려한다면 Type B의 경우는 선별 성능면에서 우수하다고 평가할 수 있다. 그러나 입자들의 궤적들을 살펴볼 경우 Type A와 C가 한번에 이동하는 입자의 거리가 Type B에 비해 긴 것을 확인할 수 있다. 이는 요구되지 않는 입자를 빨리 걸러냄으로써 처리할 수 있는 물량에서 보다 우위를 차지 할 것이라는 예측을 가능하게 한다.

치차 형상 역시 많은 입자 수, 크기 등과 같은 다양한 조건을 고려하기 어렵기 때문에 시뮬레이션 결과로 실제 선별 성능을 정량적으로 예측하기에는 한계가 있다. 하지만 제한된 조건에서 치차의 형상에 따른 입자 선별 효과에 차이가 있음을 확인할 수 있으며, 이 경우 동일한 회전속도에서 입자와 치차간의 접촉각이 작은 것이 보다 선별성능이 우수한 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 스크린의 선별 성능을 향상시키기 위해 치차부를 이루고 있는 스페이서와 치차의 형상을 변경하였다. 치차 스크린은 구조적으로 체거름 방식에 비해 선별 목표 크기를 정확하게 걸러낼 수 없는 구조이지만 기존 개발 중인 제품의 형상을 기준으로 선별의 정확도를 높일 수 있는 치차부 형상의 개선을 시도하였다. 해석을 통한 결론을 요약하면 다음과 같다.

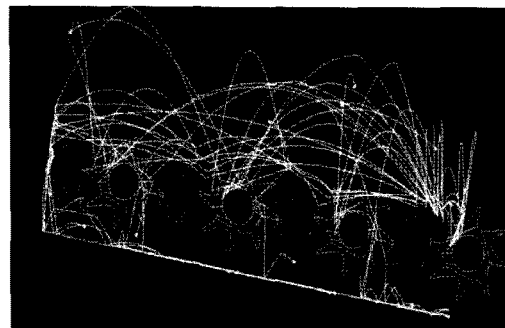
- (1) 스페이서 형상은 기존의 등근 원형 형태(Type-A)에 비하여 목표 선별 크기보다 약간 큰 홈이나 골을 넣은 형태(Type-B~D)로 만들 때 선별 성능이 각각 45, 60, 60% 개선됨을 알 수



(a) Type-A(drop : 5 particles = 25%)



(b) Type-B(drop : 3 particles = 15%)



(c) Type-C(drop : 7 particles = 35%)

Fig. 6 Simulation results for the gear shapes.

있었다. Type-B가 Type-C, D보다 낮은 이유는 톱니형태의 골에 오히려 입자가 들어가 배출되었기 때문이다. 반면 Type-C, D는 입자가 굴러 이동할 수 있기 때문에 치차에 의해 선별될 가능성을 높여주었다.

- (2) 치차 형상은 기존 치차(Type-A)에 비하여 골의 깊이가 깊을수록 입자가 많이 배출되어 선별의 정확도는 -10% 낮았고, 골의 깊이가 낮은 Type-B는 선별 성능이 10% 향상되었다. 이는 치차의 이의 개수보다 치차의 골 깊이가 선별 성능에 직접적인 영향을 미치는 설계 인자임을 알 수 있었다.

본 연구는 투입 입자의 개수에 있어서 실제와는 다른 제약이 있기 때문에 향후 스크린의 시제작을 통한 실험과 연계하여 우수한 선별 성능을 갖는 제품 개발을 도모할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 산업자원부 2007 지역산업기술개발사업(공통기술개발사업, 과제번호 : 70002177-2007-01)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

1. Kim, K. K., Kim, M. S., Son, K., Kim, K. H. and Moon, B. Y., 2007, Vibration Analysis of Separation Screen for a Recycling of Construction Wastes, Proceedings of KSME '2007 Spring Annual Conference, pp. 802-806.
2. Moon, B. Y., Bae, H. D., Kim, K. H., 2008, Vibration Analysis of Separation Screen in a Recycling Plant of Construction Wastes, Korean Journal of Air-Conditions and Refrigeration Engineering, Vol. 20, No. 8, pp. 526-533.
3. Soldinger, M., 1999, Interrelation of Stratification and Passage in the Screening Process, Minerals Engineering, Vol. 12, No. 5, pp. 497-516.
4. Zhao, Y. M., Liu, C. S. and Fan, M. M., 1999, Complicated Motion of Particles on Vibration Screen Surface, Trans. of the Nonferrous Met. Soc. China, Vol. 9, No. 4, pp. 861-864.
5. Soldinger, M., 2000, Influence of Particle Size and Bed Thickness on the Screening Process, Minerals Engineering, Vol. 13, No. 3, pp. 297-312.
6. ADAMS, Mechanical Dynamics Inc., U.S.A.