

전자선과 불가사리 분말을 이용한 하수슬러지 탈수능 향상

유 대 현 · 이 재 광 · 이 면 주

한국원자력연구소 방사선이용연구부

(2003년 12월 10일 접수; 2004년 6월 30일 채택)

Enhancement of Sludge Dewaterability using a Starfish and the Radiation Technology

Dae-Hyun Yoo, Jae-Kwang Lee and Myun-Joo Lee

Division of Radiation Application, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-353, Korea

(Manuscript received 10 December, 2003; accepted 30 June, 2004)

This study was focused on the manufacturing method of a dewatering aid, which would reduce the water content of the sludge cake by enhancing the dewaterability of sewage sludge. The pretreatment technology for sludge by using radiation and among diverse discarded resources were starfish selected as the material to manufacture the dewatering aid. Starfish went through the process of washing, drying, and pulverizing. The starfish powder made in this process was applied to the digested sludge generated at the sewage treatment plant of D City, and its effects were investigated.

The starfish powder that was 300 μm in particle size was added to the irradiated digested sludge. After the application of the condensation process, the sludge with the starfish powder added was dewatered using the belt press and centrifuge, which were the traditional pressure dewatering devices. As the result, it reduced the water content of the sludge 20% higher than the dewatered cake with no dewatering aid added and irradiation. When the powder was added, it contributed to less use of the coagulant added. The more irradiation dose, the lower water content did the dewatered cake have and the more coagulant was needed for condensation, which seems to be a disadvantage that can be compensated for by the starfish dewatering aid.

A small-scaled treatment of the study to a radiation technology and dewatering aid using a discarded resource confirmed the potential of dewaterability. Based on the results saying that the dewatering aid and radiation technology can improve dewatering effects using the traditional dewatering devices, this pretreatment technology will be expected to be applied to sewage treatment plants.

Key Words : Starfish, Dewatering aid, Sludge, E-beam, Radiation

1. 서 론

2001년말 환경부 집계자료에 의하면 현재 하수처리과정에서 발생하는 하수슬러지의 발생량은 연간 190만톤을 넘어서고 있으며 이는 지속적으로 건설 중인 하수처리장의 증가로 더욱 증가될 것으로 예상된다¹⁾. 또한 이제껏 대부분의 하수슬러지를 직매

립 및 해양투기로 처리하여 왔던 기존의 방법이 환경오염문제 심화 등의 문제로 이슈화 되고 있으며 직매립 금지에 따른 슬러지 탈수케이크 발생량 저감과 재이용에 대한 연구가 요구되고 있다.

하수슬러지의 탈수는 하수처리 후 발생되어지는 슬러지내에 존재하는 수분을 제거하는 공정으로 이를 통하여 탈수케이크의 부피를 감소시켜 처리비용의 절감 및 효율성을 높이기 위한 연구들이 진행되고 있다²⁻⁴⁾. 또한 소각 등의 후 처리방법을 병행할 시 슬러지를 연료로서의 활용가치를 높이기 위해서도 탈수기술은 매우 중요하다. 하수슬러지의 탈수효

Corresponding Author : Dae-Hyun Yoo, Division of Radiation Application, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-353, Korea
Phone : +82-42-868-2292
E-mail : ex-dhyoo@kaeri.re.kr

을 증진을 위한 방법중의 하나인 탈수보조제는 응집공정 이전에 이들을 첨가함으로써 탈수 케이크내에서 첨가된 탈수보조제 부피만큼의 수분을 제거하고 가압탈수장치에서의 압축성을 개선하는 역할을 한다. 기존에 알려진 탈수보조제로는 규조토, 톱밥, 소각재, 제지 펄프 등이 있으나 이러한 탈수보조제의 경우 추가로 이들을 확보하기 위한 비용과 자원의 낭비가 있고 후속처리공정에 따라 그 효용성이 가변되는 단점이 있다.

또한 슬러지 탈수의 전처리 공정으로 방사선을 이용하여 진행되어온 연구의 경우 슬러지 파괴의 한계로 인하여 함수율 저감효율이 최대 5~7%에 미치지 못하는 한계를 가지고 있으며 이러한 공정을 거친 슬러지는 응집효율이 저감되어 실제 처리에 적용되지 못하고 있다. 따라서 유기물 제거, 멸균, 슬러지파괴 등에 효과적인 방사선 조사공정의 적용을 위한 시스템 보조공정이 요구되며 기존의 가압식 탈수장비의 활용과 함께 경제적이고 이용범위가 넓은 탈수개량제의 개발 또한 요구되어지고 있다⁵⁾.

불가사리는 국내에 30여종 이상이 서식하고 있으며 특히 산란시기에 연안에 집중되어 어패류 양식 산업에 막대한 피해를 주고 있다. 통계에 따르면 불가사리 성체 1마리당 연간 약 10 Kg의 패류를 섭취하며 1회당 번식력도 커서 현재 서해 인근 해역에만도 1 ha 당 약 12만 마리의 불가사리가 서식하고 있다. 이러한 불가사리의 막대한 번식력과 어패류 섭취는 국내뿐 아니라 세계의 모든 해안에 걸쳐 일어나고 있으며 해양 자원의 보호를 위해 각종 구제방법 및 활용에 대한 모색이 진행되고 있다. 하지만 현재까지 연구된 불가사리의 활용은 불가사리 구성 성분 중 일부분만을 추출하여 화장품 및 약품에 이용하는 정도에 머물고 있어 추출 후 남은 부산물의 발생으로 환경 문제의 해결에는 큰 도움이 되지 못하고 있다⁶⁻⁷⁾.

따라서 본 연구에서는 폐수산자원인 불가사리를 이용한 탈수보조제를 제조하여 하수슬러지 탈수케이크의 함수율 저감과 동시에 해양생태계 보존에 도움이 되고자 한다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 실험재료

2.1.1. 하수슬러지

본 연구에서는 하수슬러지의 탈수능 향상 효과를 알아보기 위하여 D시의 하수종말처리장에서 발생하는 소화슬러지를 대상 시료로 이용하였다. Table 1에서 나타나는 것과 같이 대상 시료의 고형분 함량(Total Solids, TS)은 3.9~4.8 %의 범위였다. 소화슬러지를 이용함에 있어 초기 특성의 변화를 최소

Table 1. Characteristics of digested sludge

Item	Average
TS (%)	4.3
pH	6.9
Temperature (°C)	25.7

화하기 위하여 실험 직전 채취하여 사용하는 것을 원칙으로 진행하였고 실험온도는 상온으로 하였다.

2.1.2. 불가사리

서해안과 남해안 일대에서 불가사리를 수거하여 불순물 및 염분의 제거를 위해 상수와 증류수를 이용하여 수회 세척 후 건조, 분쇄하여 사용하였다. 불가사리의 기본물성은 Table 2에 요약하였다.

2.2. 실험방법

본 연구에서 수행되어진 실험방법을 Fig. 1에 도식화 하였다.

2.2.1. 불가사리 개량제 제조

세척 후 건조 및 열처리, 분쇄과정을 거친 불가사리 분말을 소화슬러지에 첨가하여 탈수하였다. 불가사리의 완전 건조를 위해 105 °C 온도에서 열풍건조하여 제조하였다. 불가사리의 분쇄는 기존에 알려진 슬러지 개량제의 최적 입경인 20~80 mesh 범위에 속하는 분말로 만들기 위해 분쇄 후 50 mesh로 체가름 하였다⁸⁾.

2.2.2. 전자선 조사

전자선조사를 위해 1.5 MeV의 전자선 가속기(ELV-4 Model)를 사용하였다.(Fig. 2) 전자선의 투과 깊이를 고려하여 Pyrex 재질의 평판에 대상 슬러지를 5 mm 이하의 두께로 펼쳐 조사하였다. 전자선의 조사선량은 0~50 kGy 범위에서 조사하였다.

2.2.3. 하수 슬러지 탈수

본 연구에서는 하수슬러지의 탈수능을 평가하기 위하여 대상 시료를 채취한 하수처리장에서 사용되어지고 있는 것과 동일한 양이온계 고분자 응집제

Table 2. Chemical properties of starfish

Composition	Concentration (ppm)
Al	188
Ca	264,522
Fe	1,164
K	9,444
Mg	21,467
Mn	36
Na	19,573
Si	102

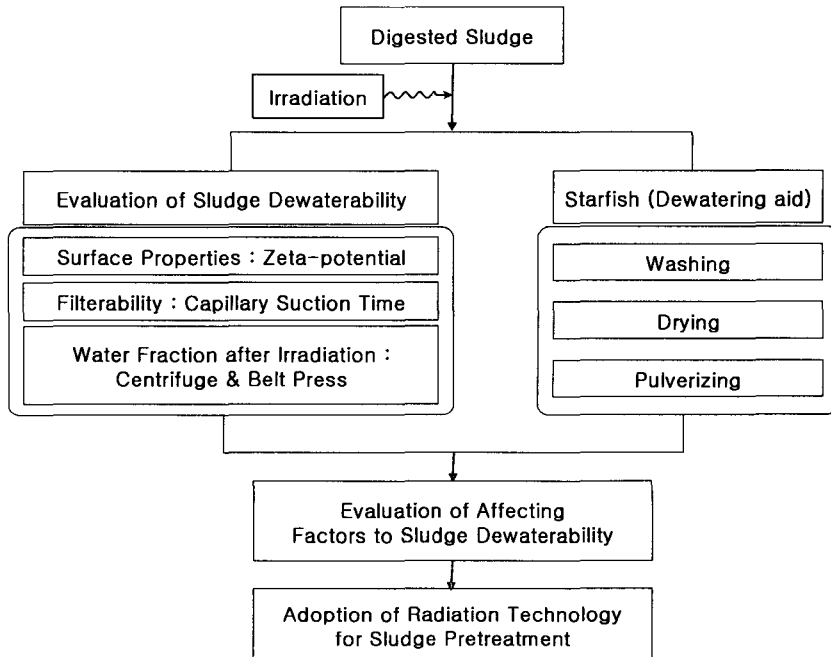


Fig. 1. Experimental scheme of sludge dewaterability test.

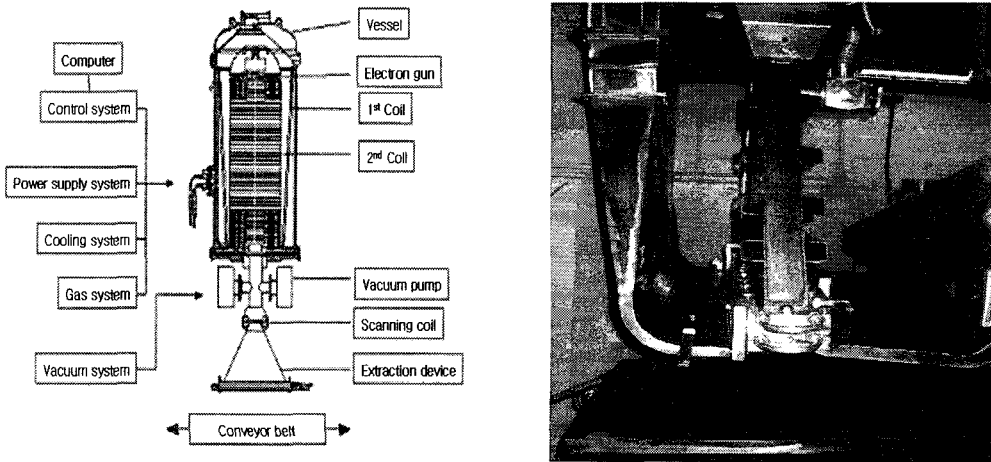


Fig. 2. Schematic diagram of electron beam accelerator.

인 SC-050을 사용하여 응집공정을 거쳐 현재 처리장에 가장 많이 보급되어 있는 Belt press 탈수기를 이용하여 슬러지를 탈수하였으며, 탈수보조제의 적용성 확인을 위하여 원심력분리기(Vision, VS-5000N)를 이용하여 탈수케이크의 함수율을 측정하였다. 함수율의 측정은 Standard method 2540 에 준하여 측정하였다⁹⁾.

2.2.4. 원심분리 조건 결정

본 연구에서는 기존에 보급되어 있는 Belt press

탈수장치뿐 아니라 Screw decanter 탈수장치에 불가사리 탈수보조제의 적용 타당성을 확인하기 위하여 실험실 규모의 원심분리 장치를 이용하여 탈수성을 평가하였다. 원심분리의 경우 Centrifugal force(G)에 따른 차이를 보이므로 G 값에 따른 탈수능을 비교하여 최적의 조건을 결정하였다. Fig. 3에서 보면 12,000 G 에서 가장 낮은 함수율을 나타내고 있으나 상용화 되어있는 Screw decanter의 기준 G 값이 1500~4000 내외인 점을 감안하여 본 연구에서는

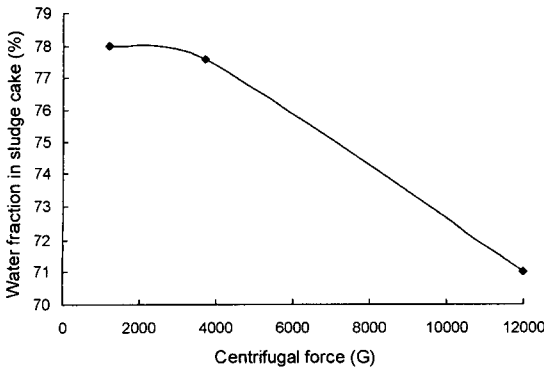


Fig. 3. The effect of centrifugal force on sludge dewaterability.

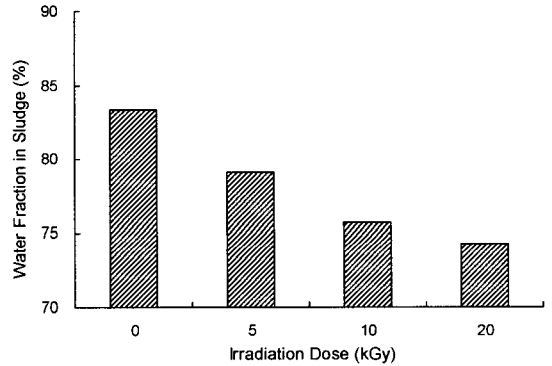


Fig. 4. Water fraction in sludge cake after irradiation.

3700 G 의 조건에서 진행하였다.

2.2.4. Capillary suction time (CST) 측정

탈수능 변화를 간접적으로 측정할 수 있는 CST 장치를 이용하였다. Type 304B Capillary suction timer (Triton Electronics Ltd., UK)를 이용하여 stainless funnel (L=1.8 cm, Φ =5mm) 에 시료 3 mL 를 주입하여 CST paper (Triton Electronics Ltd., UK)에 흡수되어 측정된 값을 구하였다. CST는 여과지의 일정 거리를 슬러지의 수분이 전파되어지는 시간을 측정하는 것으로 CST 값이 낮은 슬러지일수록 여과성과 탈수성이 우수한 것으로 평가된다.

2.2.5. 제타포텐셜 측정

전자선 조사에 따른 슬러지 표면 전하를 측정하기 위하여 ZetaPlus(Brookhaven Instrument Co., U.S.A)를 이용하였다. 측정에 사용되어진 슬러지는 각각 0~30 kGy의 선량으로 조사를 하였으며 100 μ L의 슬러지를 증류수 5 mL에 희석하여 측정에 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전자선과 불가사리 탈수보조제를 이용한 탈수능 향상

3.1.1. 전자선 조사에 따른 슬러지 변화

소화후 슬러지에 전자선을 조사하여 슬러지 탈수 케이크의 함수율 변화를 확인하였다. 전자선을 20 kGy 조사한 후 기계적 탈수공정을 거친 탈수케이크의 경우 전자선을 조사하지 않은 슬러지의 탈수케이크에 비해 약 10 %의 함수율이 감소됨을 확인할 수 있었다(Fig. 4). 이는 전자선 조사를 통해 슬러지 입자가 잘게 부수어 지며 이에 따라 기존의 기계적 탈수장치로 제거할 수 없었던 부착수의 일부가 유리되어 얻어진 결과라 사료된다⁵⁾.

슬러지 입자의 파괴정도를 확인하기 위하여 COD를 이용한 DI_{COD} 를 이용하였다¹⁰⁾.

$$DI_{COD} = \frac{COD_{Irradiated} - COD_0}{COD_{NaOH} - COD_0}$$

DI_{COD} : Disintegration of sludge

COD_{Irradiated} : 방사선 조사후 슬러지의 COD

COD_{NaOH} : NaOH 1 Mole 과 슬러지를 1:1의 비율로 혼합후 90℃에서 10분간 열처리 후 측정값

COD₀ : 사용된 초기 시료 슬러지의 COD

위의 식에 따라 전자선 조사에 따른 슬러지 파괴도를 계산하여 Fig. 5 에 도식하였다. 슬러지의 파괴는 10 kGy 까지 급격히 진행되어 지며 이후 20 kGy 까지 조사하였을 경우에는 완만한 속도로 파괴가 진행되어 진다. 이에 본 연구에서는 슬러지에 대한 적정 전자선 조사선량을 최대 10 kGy. 까지로 선정할 수 있었다. 또한 슬러지 파괴의 또다른 척도로 슬러지 여액의 탁도 변화를 측정하였다. 여액의 탁도 역시 전자선 조사선량에 비례하여 증가함을 알 수 있다(Fig. 6).

Fig. 7에는 전자선 조사에 따른 CST 측정결과를 도식하였다. 초기 소화슬러지의 CST값은 434초였으나 전자선을 조사함에 따라 감소하여 3, 6, 10 kGy를 조사하였을때 각각 170, 171, 166 초의 값을 나타내었다. 이러한 결과로 볼 때 전자선 조사에 의해 슬러지 입자가 잘게 파괴되어 여과능과 탈수능이 향상됨을 알 수 있다.

전자선 조사에 따른 제타포텐셜의 변화를 보면 초기 -28.28을 가지던 값이 6, 10, 20, 30 kGy를 조사하였을 경우 각각 -25.98, -24.19, -18.81, -17.79 mV 로 증가함을 알 수 있다(Fig. 8). 제타포텐셜은

전자선과 불가사리 분말을 이용한 하수슬러지 탈수능 향상

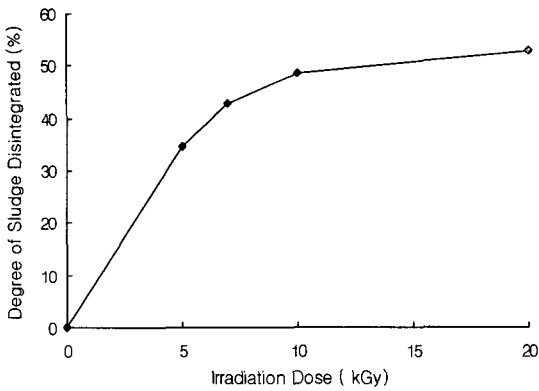


Fig. 5. Sludge disintegration by E-beam.

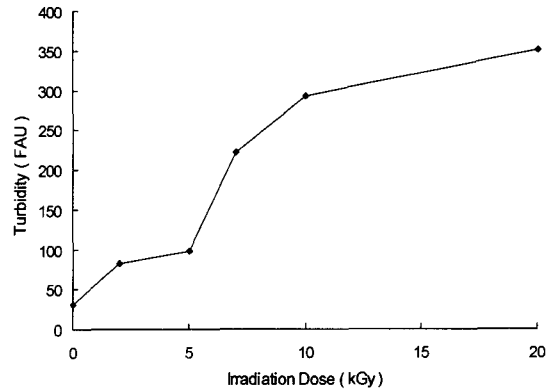


Fig. 6. Turbidity of sludge filtrate.

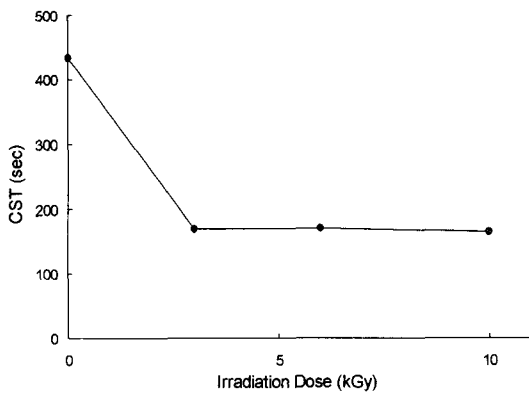


Fig. 7. Capillary suction time of sludge.

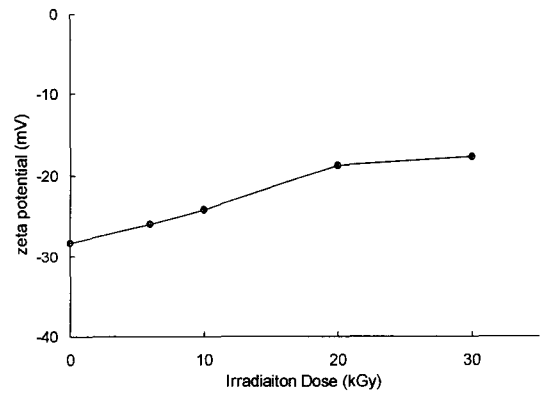


Fig. 8. Zeta potential of sludge in accordance with irradiation dose.

용액의 조건과 전기적 이동성을 이용하여 측정되면 분산의 안정도를 측정하는데 이용되는 기구로 그 값이 큰 양의 값을 갖거나 음의 값을 나타낼 때 그 입자는 안정하며 결합이 어려운 것으로 해석된다¹¹⁾. 슬러지에 전자선을 조사하였을 때 그 점도가 감소되며 입자간의 반발력이 저하되어 탈수능 향상에 도움을 주는것을 알 수 있다.

3.1.2. 전자선 조사후 탈수 보조제 주입에 따른 변화

105 °C 온도에서 열풍건조 후 분쇄한 50 mesh 이하의 불가사리 분말을 전자선을 조사한 슬러지에 주입하여 변화를 측정하였다. 불가사리 보조제는 소화슬러지의 고형분 함량 대비 75 % 로 주입하였으며 응집공정 후 Belt press 탈수장치와 실험실 규모의 원심분리기를 이용하여 탈수하였다.

Fig. 9에서 보는바와 같이 전자선만 조사한 슬러지에 비해 전자선 조사후 불가사리 분말을 주입한 소화슬러지를 Belt press를 이용하여 탈수한 케이크의 경우 10 % 이상의 함수율 저감효과를 얻을 수

있다. 이는 전자선과 불가사리 분말을 동시에 적용할 경우 초기 탈수케이크의 함수율 대비 약 20 %의 함수율 저감을 얻을 수 있어 탈수케이크의 처리 비용 절감 및 소각등의 후속공정의 적용을 용이하게 해줄 수 있다고 사료된다.

슬러지에 전자선을 조사한 후 불가사리분말의 첨가량에 따른 응집제 투여량 변화를 Fig. 10 에 나타내었다. 응집제로 SC-050 용액을 주입하며 Jar-test 를 이용하여 응집하였다. 전처리를 하지 않은 초기 소화슬러지에 비하여 전자선을 조사한 슬러지는 조사량이 증가함에 따라 응집제 투여량도 크게 증가하여 7 kGy 조사하였을 때 플록 형성을 위해 4배 이상의 응집제가 소모되었다. 이는 Fig. 5 에서 확인한 바와 같이 전자선에 의해 슬러지입자가 파괴되어 응집에 어려움이 있는 것으로 판단된다. 그러나 이러한 전자선 조사 슬러지에 불가사리분말을 첨가하였을 경우 전자선 조사로 인해 추가로 소모되는 응집제의 양을 효과적으로 억제할 수 있음을 알 수 있다.

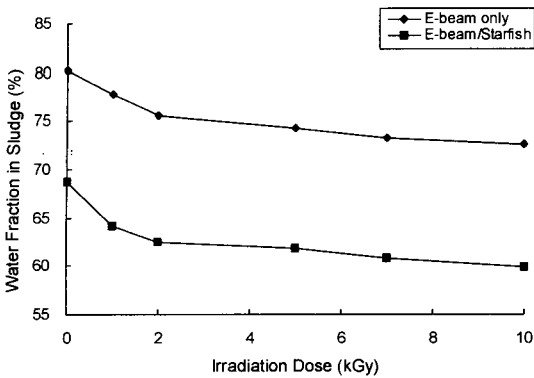


Fig. 9. Water fraction in sludge with starfish powder.

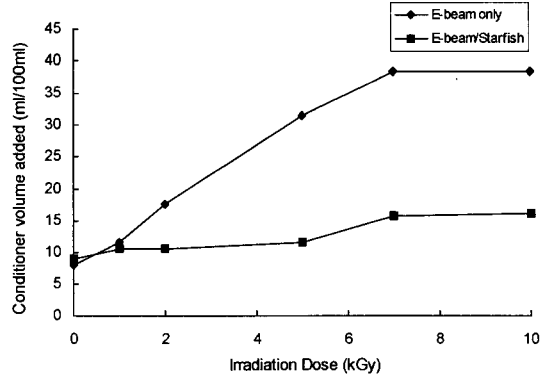


Fig. 10. Conditioner volume added by pretreatment.

4. 결 론

하수슬러지 탈수성 향상을 위한 전처리 공정으로 전자선 조사공정을 이용하고 탈수보조제로서 폐자원인 불가사리 분말을 이용하는 방법을 도입하였다. 가압식 탈수장치를 이용한 슬러지 변화 및 탈수케이크의 함수율 변화, 그리고 응집조건의 변화 등을 측정하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 슬러지에 전자선을 이용한 전처리를 하였을 때 탈수케이크의 함수율을 10 % 감소시킬 수 있다.
- 2) 전자선 조사를 통해 슬러지 파괴효과를 얻을 수 있으며 이로 인한 탈수능, 여과능 향상 효과를 기대할 수 있다.
- 3) 전자선 조사 후 불가사리 분말을 첨가하여 탈수케이크의 함수율을 20 % 이상 감소시킬 수 있으며 감소율은 불가사리 분말의 첨가량이 증가할수록 커진다.
- 4) 불가사리 분말을 첨가함으로 전자선 조사 후 증가되는 응집제 투여량을 효과적으로 감소시킬 수 있어 공정 및 경제적인 효과를 기대할 수 있다.
- 5) 기존의 가압식 탈수장치인 벨트프레스와 스크류테칸터등의 장치종류와 무관한 전처리 공정으로 적용할 수 있다.
- 6) 추출등을 통한 일부만이 아닌 불가사리 전체를 이용함으로 폐자원인 불가사리의 활용 및 처분범위를 확대할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 중장기 연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- 1) 환경부, 2002, 2001 하수도통계, 환경부.
- 2) Sawai, T., M. Yamazaki and T. Shimokawa,

1990, Improvement of sedimentation and dewatering of municipal sludge by radiation, Radiation Physics and Chemistry, 35(1-3), 465-468.

- 3) Lee, C. H. and J. C. Liu, 2001, Sludge dewaterability and floc structure in dual polymer conditioning, Advances in Environmental Research, 5, 129-136.
- 4) Mikkelsen, L. H. and K. Keiding, 2002, Physico-chemical characteristics of full scale sewage sludge with implications to dewatering, Water research, 36, 2451-2462.
- 5) 신경숙, 2002, 하수슬러지의 효율적인 처리를 위한 전자빔 응용, 충남대학교 박사학위논문, 120-142pp.
- 6) 고철호, 송현수, 윤준도, 박재표, 2002, 폐불가사리를 이용한 인산칼슘제제의 제조, 신소재 연구, 14, 71-76.
- 7) 박미선, 김봉열, 1985, 불가사리 *Asterias amurensis*(LUTKEN)의 포식습성에 관하여, 수진 연구보고, 34, 171-174.
- 8) Water Environmental Federation, 1992, Sludge Incineration: Thermal Destruction of Residues, 49pp.
- 9) Clesceri, L S., A. E. Greenberg and A. D. Eaton, 1998, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th ed., American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Washington DC, USA, 2-59pp.
- 10) Müller J., G. Lehne, J. Schwedes, S. Battenberg, R. Naveke, J. Kopp, N. Dichtl, A. Scheminski, R. Krull and D. C. Hempel, 1998,

Disintergration of sewage sludge and influence on anaerobic digestion, Wat. Sci. Tech., 38(8-9), 425-433.

11) Brookhaven Instruments Corporation, 1992, Instruction manual for ZetaPlus, Zeta Potential Analyser, 23-33pp.